www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info 2023

Jaargang 21, 1959, no. 6 blz. 161-188 Verschenen 18 september 1959

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELEND TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUKTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

TOEPASSING VAN RADIOACTIEVE ISOTOPEN VOOR HET BESTUDEREN VAN HET ZANDTRANSPORT DOOR WATERSTROMINGEN

door J. J. ARLMAN *), J. N. SVAŠEK **) en B. VERKERK ***).

621.039.85:627.223.7:627.521.1

Voor de uitvoering van waterstaatkundige werken is het soms noodzakelijk te weten hoe en in welke hoeveelheden zand en slib door de stromingen en de golfslag ter plaatse zullen worden getransporteerd. Grote betekenis heeft dit probleem ook voor het Deltaplan. Het omvangrijke meetprogramma, waarmee de Rijkswaterstaat tijdens de uitvoering van dit plan de geleidelijk veranderende hydrografische situatie voor onze kust zal controleren, behelst o.a. directe metingen van het zandtransport met behulp van een radioactieve „tracer". De in verhouding tot andere tracertoepassingen enorm grote hoeveelheden radioactiviteit die daarbij gehanteerd moeten worden, maakten een zorgvuldige voorstudie betreffende de te volgen werkmethode en de bescherming tegen radioactieve straling nodig.

Inleiding

Zand- en slibtransport door waterstromingen is van de oudste tijden tot heden een factor van doorslaggevende betekenis geweest voor de menselijke nederzettingen aan de kusten. Havens als Pisa en Brugge zijn door slibafzetting uit rivieren of uit zeestromingen ver landinwaarts komen te liggen, andere, nu nauwelijks meer met name bekende, zoals Reimerswaal, zijn door knagende stromingen geleidelijk ondermijnd en in de zee verdwenen. Nog andere havens hebben door waterstaatkundige werken de schadelijke gevolgen van kustafslag of van slibafzetting weten te voorkomen. Een pikant voorbeeld is Venetië, waarvan wordt verhaald dat het zijn strategische positie als eilandstad en haven kon redden, door de rivier de Brenta, die de lagune met verzanding bedreigde, te verleggen — en het noodlot aldus af te wentelen op zijn vazalstad Chioggia. We behoeven echter de voorbeelden van waterstaatkundige werken voor de beheersing van zand- en slibtransport niet zo ver van huis te zoeken. De positie van Nederland berust voor een aanzienlijk deel op zulke werken, of het nu, in het noorden van ons land, de landaanwinning betreft of, in het zuidwesten, de verdediging van onze kust en het openhouden van waterwegen, door pieren, strekdammen, en dergelijken.

Het is niet onmogelijk dat nieuwe en omvangrijke werken van dit soort noodzakelijk zullen worden door de uitvoering van het Deltaplan. De hierin geprojecteerde — en reeds begonnen — afdamming der zeearmen (*fig. 1*) zal de lengte van onze dijken die tegen de getijden verdedigd moeten worden, terugbrengen van 1700 tot ca. 1350 km. Tevens echter zal de afdamming drastische veranderingen teweegbrengen in de hydrografische situatie van dit kustgebied, met name in de „onderwaterdelta", die op de mondingen der zeearmen aansluit. De stromingen in en uit de monden, loodrecht op de kustlijn, zullen grotendeels verdwijnen, de overblijvende stromingen evenwijdig met de kust zullen andere sedimentverplaatsingen doen optreden dan tot dusverre, en de hierdoor zich wijzigende diepteverdeling zal weer veranderingen meebrengen in het stromingsbeeld en tevens in de, voor het

*) Isotopenlaboratorium der N.V. Philips-Roxane, Amsterdam.
**) Rijkswaterstaat, Deltadienst, 's-Gravenhage.
***) Thans Reactorcentrum Nederland; indertijd verbonden aan Philips' Natuurkundig Laboratorium.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

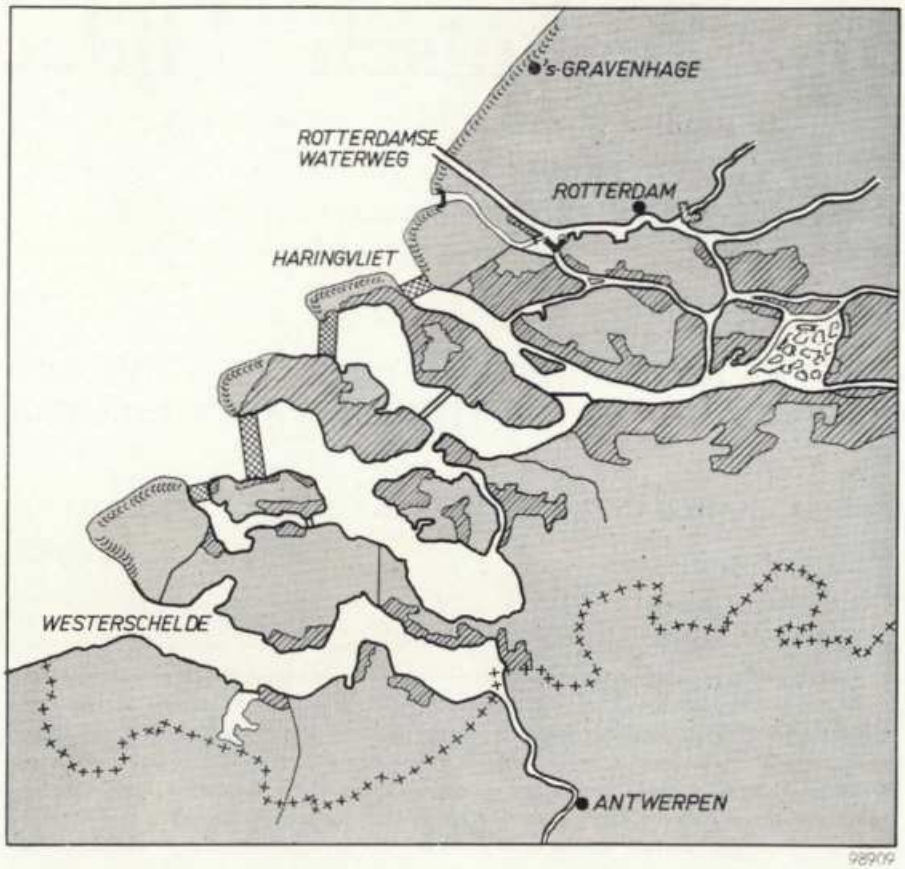


Fig. 1. Overzicht van het Deltaplan, met de geprojecteerde afsluitingen van zeearmen. De afsluiting van het Haringvliet is reeds in gevorderd stadium. Dijken die thans nog aan de werking der getijden blootstaan, zijn met dikke lijnen aangegeven. De gearceerd aangegeven gebieden werden bij de stormvloedramp van 1953 overstroomd.

afsluitingen, nodig voor de veiligheid,

beweegbare stormvloedkering in de Hollandse IJssel,

afsluitingen, nodig voor de uitvoering der beveiligingswerken,

afsluitingen ter verbetering van de waterstaatkundige toestand,

beweegbare kering in de Oude Maas, bij stormvloed open.

zandtransport zeer belangrijke, golfverschijnselen aan de kust. Tot elke prijs zal moeten worden voorkomen dat de gewijzigde situatie leidt tot onderspoelen en afbrokkelen van onze duinkust, en zal moeten worden gezorgd dat de toegangen tot Westerschelde en Rotterdamse Waterweg open blijven.

Op theoretische gronden kan men voorspellingen doen omtrent de te verwachten wijzigingen in de zandverplaatsingen voor onze zuidwestkust. Deze voorspellingen geven een niet ongunstig beeld, maar ze zijn helaas met een zeer grote onzekerheid behept. Het verschijnsel van de sedimentbeweging, die zich ten dele op de rivier- of zeebodem afspeelt, ten dele in het water zelf (waarin sedimentmateriaal in suspensie aanwezig is), en die, behalve door de permanente of quasipermanente, tweedimensionele, stromingen en door de golfslag, essentieel wordt beïnvloed door plaatselijke storingen, door turbulentie, door de Coriolis-kracht en — in bochten — door centrifugale krachten, is te ingewikkeld voor volledige berekening. Ook het beeld van de stromingen en golven zelf, dat o.a. verband houdt met de getijden, met rivierafvoeren, met dichtheidsverschillen in het water, en met de wind, kan men praktisch niet berekenen doch slechts door metingen leren kennen [1]).

Het ligt dus voor de hand dat ten behoeve van het Deltaplan een uitvoerige, grotendeels experi-

[1]) Zie voor een nadere bespreking van deze vraagstukken het „Progress Report" van de Deltadienst van juni 1957 (ook gepubliceerd als Technical Memorandum No. 105 van Beach Erosion Board, maart 1958): J. J. Arlman, P. Santema en J. N. Svašek, Movement of bottom sediment in coastal waters by currents and waves; measurements with the aid of radioactive tracers in The Netherlands. Ook vele van de verderop beschreven overwegingen en proeven zijn in dat verslag uitvoeriger weergegeven.

Digitized by www.freeservicemanuals.info 2023
Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

mentele, studie van het zand- en slibtransport in de betrokken kustgedeelten moest worden opgezet. Ten dele wordt deze studie verricht aan modellen op schaal in de waterloopkundige laboratoria: een groot model van het Haringvliet (horizontale schaal 1 : 150), dat als eerste van de zeearmen zal worden afgesloten, is al geruime tijd in onderzoek in De Voorst, een ander model van het gebied van het Haringvliet tot voorbij de mond van de Rotterdamse Waterweg (horizontale schaal 1 : 800) is in 1958 in Delft in gebruik genomen. Daarnaast echter worden, omdat in zulke modellen diverse factoren, zoals de golfwerking, niet op geheel juiste wijze kunnen worden nagebootst, tijdens en na de uitvoering der Deltawerken metingen „in het veld" gedaan. Deze metingen kan men in drie groepen verdelen.

Ten eerste meet men de oorzaken van de zandverplaatsing, nl. stromingen en golven (die men overigens ook om andere redenen moet kennen). Men maakt daartoe op gezette tijden door simultane metingen op talrijke plaatsen als het ware momentopnamen van de stromingstoestand en de golfslag (hoogte en spectrale verdeling der golven) in het gehele onderzochte gebied. Moderne methodes spelen hierbij een grote rol, zoals de automatische overbrenging van meetgegevens van vaste meetpunten naar een centrale door radio („tele-metering"), en de plaatsbepaling van meetboten of van vrij drijvende vlotten, of zelfs van golftoppen, met behulp van een 8-mm-radarinstallatie [2]).

De tweede groep van metingen betreft het resultaat van de zandverplaatsingen: in een aantal kuststroken, ter lengte van 500 m en zich uitstrekkend van de duinvoet tot de dieptelijn van 10 m beneden N.A.P. (*fig. 2*), bestudeert men aan de hand van maandelijkse lodingen en analyses van bodemmonsters de ontwikkeling van het kustprofiel.

Bij de derde groep van metingen ten slotte onderzoekt men het proces van de zandbeweging rechtstreeks. Dit is praktisch mogelijk geworden door een zeer doeltreffende meetmethode, die de laatste jaren naar voren is gekomen en die berust op het gebruik van een radioactieve tracer („indicator"). Als men er in slaagt, het zand op een bepaalde plaats van de rivier- of zeebodem met zulk een tracer te „merken", is het, dank zij de buitengewone gevoeligheid van radioactiviteitsmetingen, na enige tijd mogelijk, nog op vrij grote afstand van de bedoelde plaats radioactiviteit in het zand aan te tonen en daarmee ook kwantitatief te bepalen hoe het zandtransport verloopt. Over deze meetmethode en de daarbij optredende problemen, die voor een deel in samenwerking tussen de Deltadienst van de Rijkswaterstaat en het Isotopenlaboratorium van de N.V. Philips-Roxane zijn onderzocht, zal in dit artikel het een en ander worden meegedeeld.

Er bestaan ook andere, in wezen heel eenvoudige methodes voor het direct meten van het zandtransport. Voor het transport over de bodem heeft men de zg. „Sfinx" meter, voor het transport in suspensie de zg. Delftse fles, beide berustend op het opvangen van bewegend zand in een geijkt vat [1]). De meetresultaten van deze en soortgelijke toestellen vertonen echter een zeer grote spreiding, o.a. veroorzaakt doordat het aanbrengen van de meetinrichting een moeilijk te controleren invloed heeft op de plaatselijke stromingstoestand. Bovendien hebben dergelijke toestellen het bezwaar dat men niet goed meten kan bij ruw weer, waarbij het zandtransport juist zeer belangrijk kan zijn.

Principe van de meetmethode

Een fysisch of chemisch proces in een bepaald materiaal kan met behulp van een „tracer", ongeacht van welke aard, worden onderzocht, mits de tracer zich ten aanzien van het proces eender gedraagt als het materiaal in kwestie. In ons geval moet dus de tracer een korrelig materiaal zijn, dat door water op dezelfde wijze getransporteerd wordt als zand — of, nauwkeuriger: als het zand dat men in het kustgebied van de Deltawerken aantreft.

Laten we even onderstellen dat we reeds over zulk een tracer beschikken. De metingen zullen dan ongeveer op de volgende wijze moeten worden uitgevoerd. Een hoeveelheid van de tracer, die men eventueel vooraf nog kan verdunnen met een hoeveelheid ongemerkt zand, wordt op een gegeven moment voorzichtig gestort op een bepaalde plaats van de zeebodem. Door stroming en golfslag wordt nu dit „tracerbed" uitgesmeerd over een grote oppervlakte. We willen als eis stellen dat de tracer daarna aantoonbaar moet zijn tot op 1000 meter afstand van de stortplaats. Om de gedachte te bepalen, nemen we aan dat de tracer zich gelijkmatig verdeeld heeft over de cirkel met de straal 1000 m, en dat hij daarbij gemengd is met niet gemerkt bodemmateriaal over een diepte d, die we b.v. op 10 cm kunnen stellen. In dat geval is de hoeveelheid tracer verdund met een hoeveelheid van 300 000 m³ ongemerkt materiaal!

Hieruit ziet men reeds dat het aantonen van de tracer zeer hoge eisen aan de gevoeligheid van de

[2]) Een dergelijke installatie is o.a. beschreven in: J. M. G. Seppen en J. Verstraten, Een 8-mm-radarinstallatie, Philips techn. T. **21**, 41-53, 1959 (no. 2/3). Een voorlopige mededeling over de bedoelde toepassing vindt men in het Driemaandelijks Bericht „Deltawerken" no. 4, mei 1958, blz. 11-19.

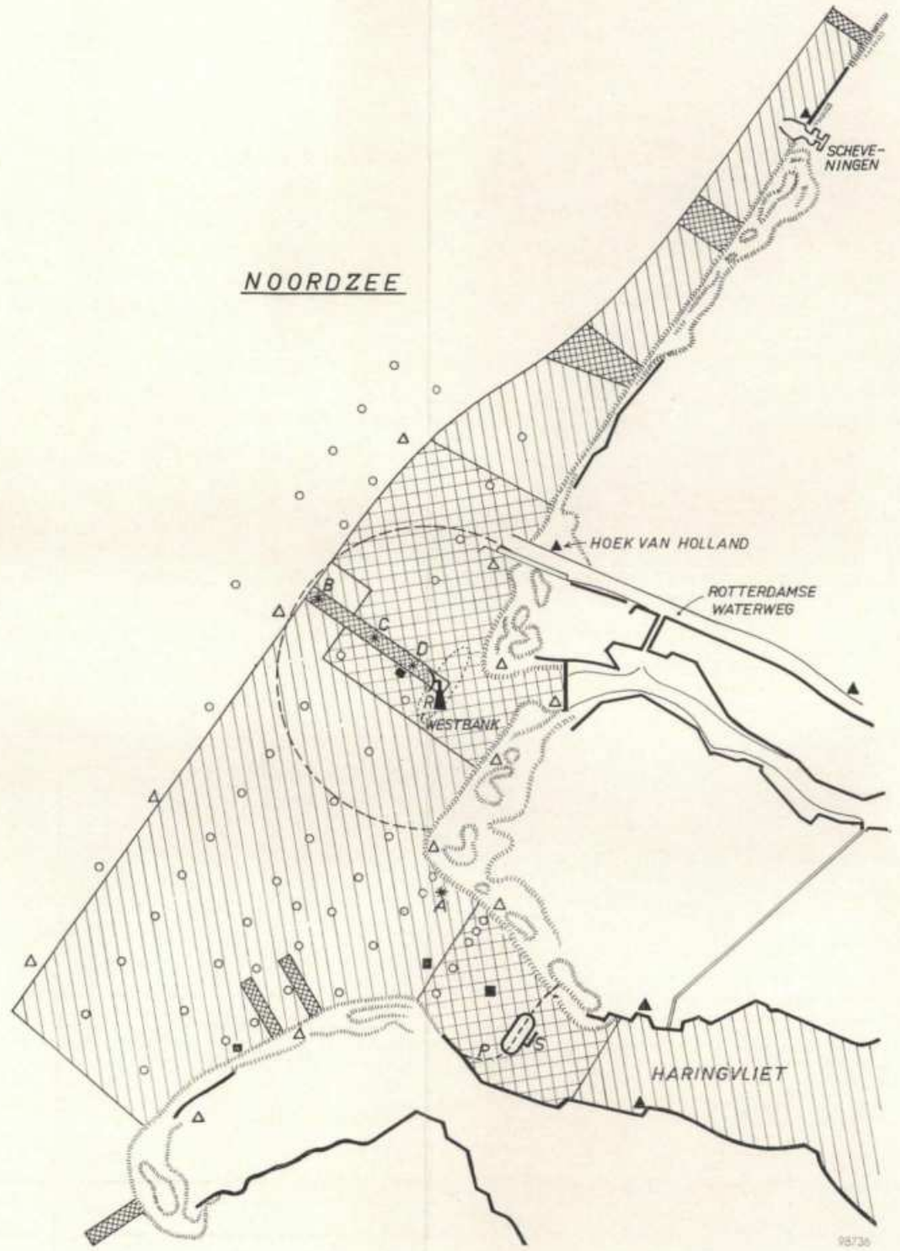


Fig. 2. Overzicht van het programma van metingen dat tijdens en na de afsluiting van het Haringvliet zal worden uitgevoerd. In de gearceerde zeegebieden zullen geregeld lodingen worden verricht, ▨ éénmaal per jaar, ▩ enkele malen per jaar, ▩ nog vaker. ▲, ■ permanente stations voor registratie van het getij resp. van golven en getij; o plaatsen waar het stroombeeld gemeten zal worden; ✳ *ABCD* stortplaatsen voor meting van het zandtransport met een radioactieve tracer; △ tijdelijke stations voor meting van het getij; *R* radarstation, *S* bouwput voor schutsluis in het Haringvliet, *P* geprojecteerde dam.

Digitized in Heiloo the Netherlands

Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

metingen zal stellen. Andere dan radioactieve tracers komen daardoor in ons geval niet in aanmerking [3]). Maar zelfs bij de uiterst gevoelige methodes voor radioactiviteitsmeting blijft het noodzakelijk, met grote hoeveelheden radioactiviteit te werken. We kunnen dit preciseren door de volgende ruwe berekening.

Wegens de menging met inactief materiaal over een vrij grote diepte (d) zal het merken moeten geschieden met een radioactief isotoop dat een zeer doordringende straling levert, b.v. gammastralen van 1 MeV of nog harder. De beste detector voor het aantonen van zulk een straling is de scintillatieteller, uitgerust b.v. met een NaI-kristal [4]). Deze telt een zeer behoorlijke fractie van de op het kristal vallende harde gammaquanta (telrendement η b.v. 35%), en storende stralingen kunnen desgewenst door zg. discriminatorschakelingen onschadelijk gemaakt worden. De meting zal men uitvoeren in een opstelling zoals geschetst in *fig. 3*. De teller, met een kristal van b.v. 2,5 cm diameter, wordt op een afstand van b.v. 20 cm boven de zeebodem geplaatst. Per cm³ bodemmateriaal zijn n radioactieve korrels aanwezig, elk met een activiteit van a microcurie (1 microcurie komt overeen met de activiteit van 10^{-6} g radium, d.i. $3{,}7\times10^4$ desintegraties per seconde), en het gebruikte isotoop moge p afzonderlijk telbare gammaquanta per desintegratie leveren. De teller geeft dan een impulsdichtheid („count rate")

$$c = 3{,}7\times10^4\times60\ p\ n\ a\ \eta\ G \quad \text{impulsen/minuut.} \qquad \ldots \quad (1)$$

G is een „geometriefactor", waarin verdisconteerd worden de boven reeds genoemde afmetingen, verder de halve openingshoek φ van de kegel van de straling die de teller bereikt en die we b.v. op 45° stellen, de diepte d in de bodem waarover de radioactieve korrels verdeeld zijn, en ten slotte de absorptie die de straling op zijn weg naar de teller ondervindt. Voor een bepaalde straling werd aldus berekend [1]) dat, bij $d = 9$ cm,

$$c = 7\times10^6\ n\ a \quad \text{impulsen/minuut.}$$

De scintillatieteller geeft een nuleffect van ca. 300 impulsen per minuut; een straling is slechts met zekerheid aan te tonen indien ze een impulsdichtheid c van minstens 50% van het nuleffect levert, in casu 150 impulsen/minuut. Hieruit volgt dat men $na \geqq 2\times10^{-5}$ microcurie/cm³ moet maken, en bij de hierboven genoemde verdunning met 300 000 m³ zand is dus op de stortplaats van de tracer een totale activiteit vereist van ca. 6 curie (dus overeenkomende met 6 gram radium). Vindt de vermenging van de tracer plaats over een grotere diepte, b.v. $d = 1$ meter, dan wordt dit nog veel meer, in casu ca. 40 curie.

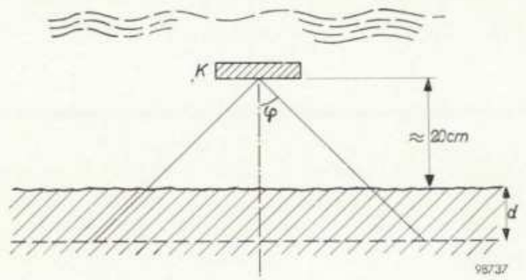


Fig. 3. Situatie bij het meten van de plaatselijke radioactiviteit van de zeebodem, met behulp van een in het water geplaatste scintillatieteller (NaI-kristal K). Aangenomen wordt dat de tracer zich over een diepte d gelijkmatig met het inactieve zeezand heeft vermengd.

Er zijn nog vele eisen waaraan het te gebruiken tracermateriaal moet voldoen. De halveringstijd van het isotoop, de activiteit per korrel, de aard van de korrels spelen een belangrijke rol. We gaan straks nader hierop in. Het inzicht echter dat men bij de proeven met zulke enorme hoeveelheden radioactiviteit zou moeten werken, en dat nog wel buiten de afzondering van een laboratorium, maakte het gewenst, zich in een vroeg stadium van het onderzoek alvast te oriënteren omtrent de te volgen methodes bij het meten en bij het hanteren van het tracermateriaal, vooral ook omtrent de wijze waarop het bij de metingen betrokken personeel doelmatig tegen de straling kan worden beschermd. Er werd daarom besloten dat de Rijkswaterstaat, in samenwerking met Philips-Roxane, eerst een voorbereidende proef zou nemen in zijn waterloopkundig laboratorium De Voorst, gesticht op een (voor ontginning niet geschikte) strook zandgrond in de Noordoostpolder nabij Vollenhove. De opzet en het verloop van de proef willen we in het kort beschrijven.

---

[3]) In principe kan als tracer ook dienen een stof die zich van zand onderscheidt door zijn chemische of mineralogische eigenschappen, of door zijn kleur, of door de eigenschap van fluorescentie. Nog afgezien van de te geringe gevoeligheid (of de te grote kosten) van de analysemethodes voor deze verschillen, in de genoemde verdunning, hebben al zulke tracers het bezwaar dat voor de meting monsters van de zee- of rivierbodem genomen moeten worden (in tegenstelling met de hieronder beschreven meting met de radioactieve tracer). Meting op talrijke punten is daardoor omslachtig en tijdrovend. Verder laten zulke tracers geen herhaalde metingen in hetzelfde gebied toe, daar de in het bodemmateriaal achterblijvende (zeer verdunde) tracer zijn tracereigenschap nooit verliest. Zie de beschrijving der metingen hieronder.

[4]) Zie b.v. J. A. W. van der Does de Bye, De scintillatieteller, Philips techn. T. **20**, 209-220, 1958 (no. 8).

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Natuurlijk waren van tevoren schattingen gemaakt omtrent de radioactieve besmetting, die de metingen voor de kust zouden veroorzaken op nabij gelegen badstranden en viswaters. Waarden van de te verwachten doseringssnelheden aldaar werden afgeleid uit de boven besproken verdunningsgraad en uit gegevens over halveringstijd en activiteit per tracerkorrel (zie aan het eind van dit artikel). Op grond van deze beschouwingen, en rekening houdend met veiligheidseisen die nog ongeveer 1000 maal strenger gesteld waren dan bij voorafgaande soortgelijke proeven elders [5]), werd het voorstel tot het doen van de metingen voor de kust goedgekeurd door de Hoofdinspectie voor de Volksgezondheid en door de Isotopencommissie van de Kon. Nederl. Akademie van Wetenschappen.

Toen de proef werd geprojecteerd, waren reeds op twee andere plaatsen soortgelijke proeven uitgevoerd. Het eerst was door medewerkers van het Atomic Energy Research Establishment te Harwell in samenwerking met de Port of London Authority een slibstroming in de Theems onderzocht [5]). Vrijwel terzelfdertijd had men in Japan het zandtransport op de zeebodem langs het eiland Hokkaido bestudeerd met het oog op de aanleg van een grote haven bij de stad Tomakomai [6]). Aangezien men geen mogelijkheid had om zandkorrels zelf op geschikte wijze radioactief te maken, werd in beide

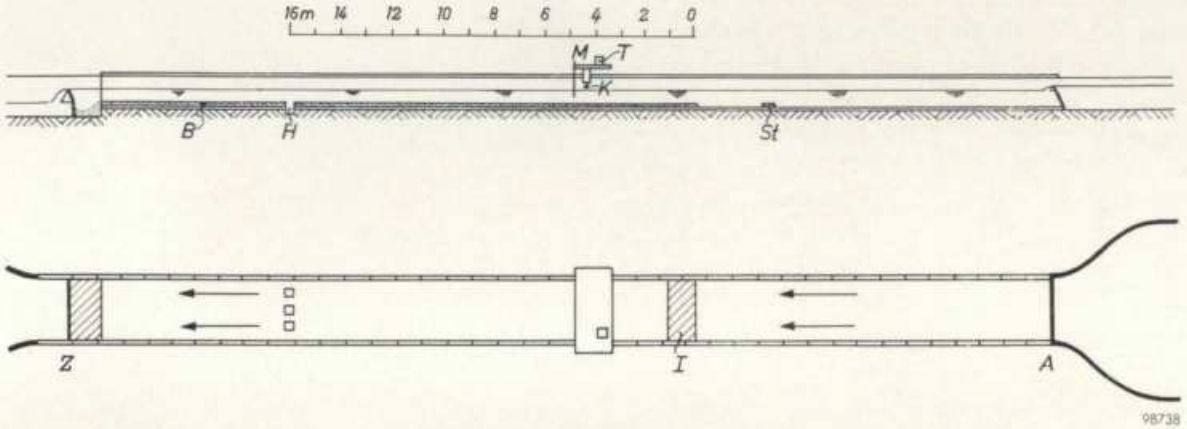


Fig. 4. Doorsnede en plattegrond van de proefgoot („kunstrivier") in het waterloopkundig laboratorium De Voorst in de Noordoostpolder. *A* waterinlaat, *Z* waterafvoer, *B* zandbedding, *I* stortplaats voor het tracermateriaal, *M* verplaatsbare brug met scintillatieteller *K* en instrumentarium *T*, *H* zandvallen voor onafhankelijke bepaling van het sedimenttransport. Bij *St* werd een standaardmonster van de tracer geplaatst, dat bij elke meetserie meegemeten werd om de geleidelijke daling van de activiteit van de tracer te verdisconteren.

Oriënterende proef in de Noordoostpolder

De oriënterende proef werd uitgevoerd in een „kunstrivier", speciaal ingericht voor het bestuderen van zand- en slibtransport. Deze rivier bestaat uit een 39 m lange and 2,5 m brede gemetselde goot, met een zandbodem en met instelbare waterkeringen aan begin en eind, waarmee de waterhoogte en de stroomsnelheid kunnen worden gevarieerd (*fig. 4*). Een scintillatieteller, omgeven door 300 kg lood ter vermindering van de invloed van storende straling, werd onder een verplaatsbare houten meetbrug opgehangen. Op de brug stond de apparatuur voor het tellen van de impulsen (*fig. 5*); verder bevonden zich hier een meetstok voor het aflezen van de waterhoogte boven de zandbodem, en een buis waarmee bodemmonsters getrokken werden.

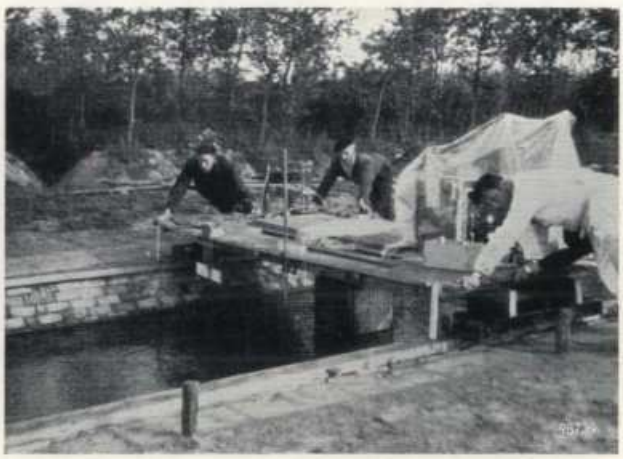


Fig. 5. De meetbrug met het instrumentarium, gebruikt bij de proeven in de proefgoot van het waterloopkundig laboratorium De Voorst.

[5]) J. L. Putman, D. B. Smith, R. M. Welles, F. Allen en G. Rowan, Thames siltation investigation, preliminary experiment on the use of radioactive tracers for indicating mud movements, Joint A.E.R.E.-D.S.I.R. report, Wallingford, dec. 1954.

[6]) S. Inose, M. Kato, S. Sato en N. Shiraishi, The field experiment of littoral drift using radioactive glass sand, Proc. Conf. Peaceful Uses Atomic Energy, Genève 1955, deel **15**, blz. 211.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gevallen gewerkt met glaspoeder, waarin een radioactief isotoop was gesmolten (in Engeland scandium ^{46}Sc, in Japan zink ^{65}Zn). Hoewel te voorzien was dat de transporteigenschappen van de glaskorrels sterk zouden verschillen van die der zandkorrels, werd voor onze oriënterende proef een dergelijke tracer gekozen, nl. glasparels. Hierbij werd echter geen kunstmatige radioactieve stof in het glas gesmolten, doch de glasparels zelf werden door bestraling in een kernreactor radioactief gemaakt. Bij bestraling met neutronen ontstaat nl. uit het, in het glas aanwezige, natrium het radioactieve isotoop ^{24}Na, dat zeer harde gammastralen uitzendt (1,38 en 2,76 MeV). De halveringstijd van ^{24}Na is ca. 15 uur. Voor de onderzoekingen op grote schaal in het Deltagebied, waarbij sommige metingen zich over verscheidene weken zullen uitstrekken, is deze halveringstijd veel te kort. Voor de oriënterende proef echter was een korte halveringstijd juist gunstig, daar dan geen gevaar bestaat van langdurige radioactieve besmetting van het laboratoriumterrein.

Het tracermateriaal werd verkregen door bestraling van vijftien aluminium busjes, elk met 128 gram glasparels, in de Noors-Nederlandse kernreactor te Kjeller, bij Oslo. De bestraling duurde ongeveer een week, waarna een totale activiteit van 20 curie gemeten werd (voor een deel afkomstig van nog korter levende isotopen dan ^{24}Na).

Het transport van Kjeller naar De Voorst was een probleem op zichzelf: het moest natuurlijk zo vlug mogelijk gaan, gezien de korte levensduur van ^{24}Na, en er moesten daarbij de nodige maatregelen voor bescherming van de omgeving tegen de straling genomen worden. Transport per vliegtuig bleek veel te kostbaar. De busjes werden daarom vervoerd per vrachtauto, in een uit 700 kg lood bestaande omhulling. De auto werd bemand met drie chauffeurs om dag en nacht door te kunnen rijden, de douaneposten aan de te passeren landgrenzen (Zweden, Denemarken, Duitsland) werden van het plan in kennis gesteld en verleenden alle medewerking om geen oponthoud te doen ontstaan, en zo bleek er dan — ondanks pech onderweg — bij aankomst in De Voorst nog 1,5 curie ^{24}Na over te zijn.

Het uitladen van de vrachtauto gebeurde met veel voorzorgen. Op 1 m afstand zou men van de niet afgeschermde busjes al in 6 minuten de maximaal toelaatbare dosis voor een hele week hebben ontvangen, en in tegenstelling met de startplaats waren hier geen speciale faciliteiten beschikbaar voor het werken met radioactief materiaal. Het materiaal werd gedeponeerd in een geïmproviseerde

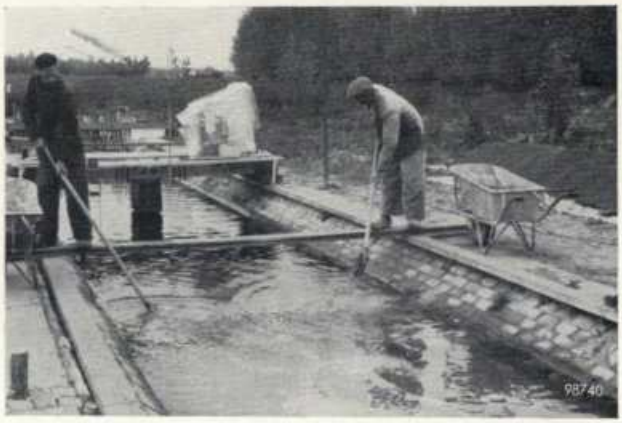


Fig. 6. Het deponeren van de tracer in de proefgoot.

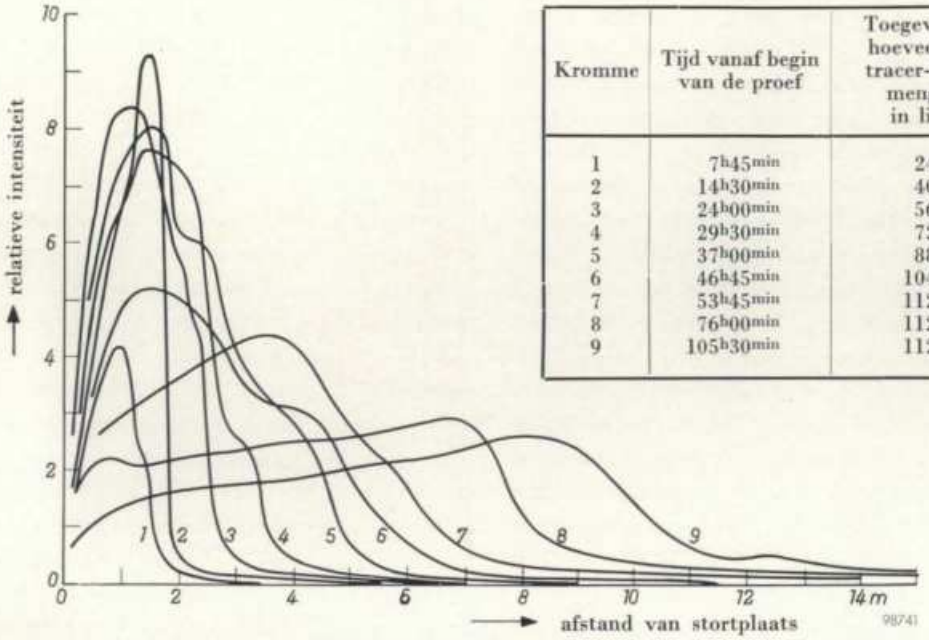
opslagplaats, bestaande uit een 50 m lange, aan drie zijden door dicht struikgewas ontoegankelijke greppel, waarin de busjes op gemarkeerde plaatsen op onderlinge afstanden van enige meters werden neergelegd. Bij het verdere hanteren behoefde nu slechts gerekend te worden met de straling van één busje. De inhoud aan glasparels van een busje werd met een bekende hoeveelheid zand en water gemengd in een betonmolen, die op een plastieken doek was opgesteld om bij het mengen gemorst materiaal zoveel mogelijk bijeen te houden. Met enkele eenvoudige gereedschappen kon het busje in de molen op afstand worden geopend. Het gemerkte zand werd onmiddellijk naar de proefgoot gebracht en op de stortplaats uitgestrooid (zie *fig. 6*).

Na storten van het gemerkte zand werd met regelmatige tussenpozen de activiteitsverdeling in de as van de goot over een lengte van ca. 15 meter bepaald. Op de gebruikelijke manier werden alle meetresultaten gereduceerd tot percentages van een telkens meegemeten standaardpreparaat van het oorspronkelijke radioactieve materiaal, zodat de invloed van de geleidelijke activiteitsdaling met de tijd werd geëlimineerd. Na enige uren werd een zelfde hoeveelheid zand, gemerkt met de glasparels van het tweede busje, op dezelfde plaats gestort, en de activiteitsmetingen werden voortgezet. Na 50 uur was het gehele radioactieve materiaal verbruikt. De metingen werden voortgezet tot 100 uur na de eerste storting.

De uitkomsten van de activiteitsmetingen over de lengte van de proefgoot op verschillende tijdstippen zijn in *fig. 7* weergegeven. In *fig. 8* zijn de hieruit afgeleide transportsnelheden uitgezet (in liters bodemmateriaal per uur), tezamen met de ware transportsnelheden, die dank zij de eenvoudige geometrie van de kunstrivier konden worden berekend uit de gemeten wijzigingen in de bodemconfiguratie. Men ziet uit de laatstgenoemde curven dat in het begin

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



Kromme	Tijd vanaf begin van de proef	Toegevoerde hoeveelheid tracer-zand-mengsel in liter
1	7h45min	240
2	14h30min	400
3	24h00min	560
4	29h30min	720
5	37h00min	880
6	46h45min	1040
7	53h45min	1120
8	76h00min	1120
9	105h30min	1120

Fig. 7. Gemeten activiteit als functie van de afstand van de stortplaats, op verschillende tijdstippen (waarbij herhaaldelijk nieuwe hoeveelheden tracermateriaal waren toegevoegd, zie het tabelletje in de inzet).

van de proef een vrijwel stationair sedimenttransport plaatsvond: de afgevoerde hoeveelheden zand aan het eind van het meettraject waren vrijwel gelijk aan de toegevoerde hoeveelheden op de stortplaats. Het transport van de glasparels echter bleef in dit stadium duidelijk achter bij het zandtransport. We zeiden reeds dat een verschil in dit opzicht was te voorzien. De gebruikte glasparels waren gemiddeld groter dan de zandkorrels (D_{50}, d.i. de waarde van de diameter welke door 50 gew.-% van het materiaal wordt overschreden, bedroeg 270 μ, tegenover 160 μ van het zand in De Voorst), ook de grootte-verdeling der korrels was geheel afwijkend, en bovendien was het soortelijke gewicht van het gebruikte glas 2,95, d.i. aanzienlijk groter dan van het gebruikte zand (2,65). Na de eerste 50 uur, toen het sedimenttransport niet meer stationair was doch „bodemerosie" optrad, werden de glasparels — die kennelijk voor een groot deel achtergebleven waren tezamen met de grootste zandkorrels — wèl getransporteerd, zoals uit fig. 8 blijkt.

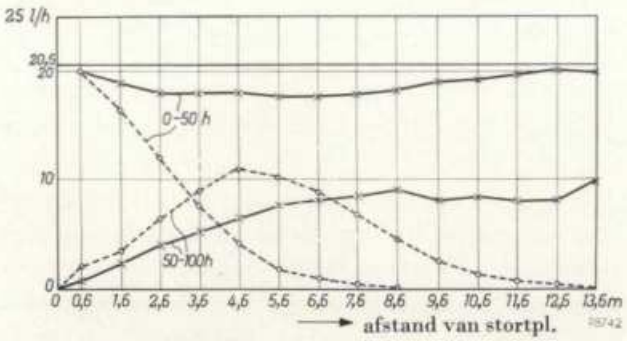


Fig. 8. Transportsnelheid (in liters sediment per uur) op alle plaatsen in de as van de proefgoot, in de eerste 50 uren van de proef (met herhaalde toevoeging van tracermateriaal, met een gemiddelde van 20,5 l/h) en in de daarop volgende 50 uren (geen toevoeging meer van tracermateriaal). Gestippelde krommen afgeleid uit de activiteitsmetingen, getrokken krommen afgeleid uit de veranderingen van de bodemconfiguratie. De transporteigenschappen van de tracer (geactiveerde glasparels) verschillen duidelijk van die van het zand. Dit volgt met name uit de krommen voor 50-100 h, die op de eerste 6 meter een sterker transport van radioactief materiaal te zien geven dan aan het totale zandtransport aldaar beantwoordt: het radioactieve materiaal is in dit aanvangstraject eerst opgepot, het wordt hier afgevoerd zodra er niet veel normaal zand meer over is.

Behalve een goede indruk van de fouten die men verwachten moet als het tracermateriaal andere transporteigenschappen bezit dan het zand, leverde de proef o.a. als resultaat de conclusie, dat de gebruikte techniek van meten behoorlijke informatie over de aanwezige activiteitsverdeling kan geven, ook bij geringe activiteiten (na 100 uur was in totaal nog slechts 1,5% van de oorspronkelijke activiteit over).

Voor de bescherming van het personeel tijdens deze proeven werden talrijke maatregelen genomen. De stralingsrisico's bij de verschillende handelingen werden alle door regelmatige metingen met monitors gecontroleerd. Bij sommige werkzaamheden, zoals het bedienen van de betonmolen en het storten van het actieve zand, werd een doorlopende controle toegepast. Natuurlijk werden alle bij het werk

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

betrokken mensen, waaronder een aantal ongeschoolde arbeiders, voor de proef terdege geïnstrueerd. Allen droegen röntgenfilmpjes voor controle van de totale ontvangen dosis, de meest geëxponeerde mensen droegen bovendien zakdosismeters [7]), die controle van momentele doseringssnelheden mogelijk maken. Het gebied waarin met radioactiviteit werd gewerkt, was door duidelijke waarschuwingstekens afgebakend, niet bij de proef betrokken personen was de toegang tot dit gebied ontzegd. Rond de betonmolen was een radioactieve besmetting van de grond niet geheel te voorkomen. Daar de meeste medewerkers op het terrein klompen of polderlaarzen droegen, die na werktijd hier achterbleven, werd geen activiteit via schoenzolen buiten het terrein gebracht. De korte levensduur van ^{24}Na maakte bovendien dat na ruim een week alle besmetting op het terrein was verdwenen.

Na afloop van de proeven werd geconstateerd dat slechts enkele medewerkers een totale dosis van meer dan 100 milliröntgen hadden ontvangen. De hoogste waarde was 160 mr, bij mensen die gedurende 3 dagen 8 uur per dag hadden meegewerkt. De wekelijks toegestane dosis bedroeg toentertijd 300 mr [8]).

Het merken van het zand voor de metingen aan de kust

De eenvoudige methode van de geactiveerde glasparels is voor de uiteindelijke metingen niet geschikt, zoals we hierboven hebben gezien. Ook is de halveringstijd van ^{24}Na, zoals vermeld, veel te kort. Het meest gewenst is een halveringstijd van de orde van een week tot een maand; men heeft dan tijd genoeg voor metingen die zich over enige weken kunnen uitstrekken, terwijl anderzijds de activiteit snel genoeg wegsterft om geen accumulerende besmetting van stranden of storing van latere metingen in hetzelfde gebied te veroorzaken.

Rechtstreekse activering van een hoeveelheid zeezand, door bestraling in een kernreactor, zou de ideale manier zijn om een volkomen identiek gedrag van de tracer in het transport door de stromingen en golven te waarborgen. In het bijzonder zou men dan ook redelijk zeker zijn dat elke korrel een activiteit evenredig met zijn gewicht verkrijgt: in dat geval zijn de gemeten activiteiten direct een maat voor de verplaatste gewichtshoeveelheden zeezand, onafhankelijk van de bij het verplaatsen optredende segregatie tussen korrels van verschillende grootte. Helaas geven de elementen die in zeezand aanwezig zijn, voor ons doel òf een te geringe activiteit, òf ze leiden slechts tot bètastralers, waarvan de straling dus niet voldoende doordringend is, met bovendien te korte halveringstijden. Men moet dus een geschikt radioactief isotoop uitzoeken en trachten dit te hechten aan of chemisch in te bouwen in zand, of in een stof die voor ons doel voldoende op zand lijkt.

Een onderzoek naar de mogelijke isotopen voor ons geval heeft geleid tot de keuze van ^{46}Sc. Dit isotoop heeft een halveringstijd van 85 dagen, en het geeft twee gammaquanta, één van 0,89 MeV en één van 1,12 MeV. De aanwezigheid van twee stralingen van verschillende energie kan een belangrijk voordeel zijn: het is dan in principe mogelijk, ten gevolge van verschillende absorptie van deze stralingen in het bodemmateriaal, uit de metingen ook informatie te verkrijgen omtrent de verdeling van de activiteit in een verticale doorsnede van de zeebodem. (Weliswaar moet hiertoe de hoek φ in de opstelling volgens fig. 3 nogal klein worden gekozen, wat nadelig is voor de gevoeligheid van de activiteitsmeting.)

Het isotoop ^{45}Sc heeft voor de neutronenvangst, waarbij het actieve isotoop ^{46}Sc wordt gevormd, een werkzame doorsnede van 22 barn — een relatief hoge waarde, waardoor bij de bestraling van een hoeveelheid materiaal in een kernreactor een vrij grote activiteit per gewichtseenheid geproduceerd kan worden. Gezien de grote totale activiteit die we nodig hebben (evtl. enige tientallen curies, zie boven), is dit een gunstige omstandigheid, want in een reactor staat slechts een beperkte plaatsruimte voor het te bestralen materiaal ter beschikking, en de hanteerbaarheid van sterk radioactieve stoffen wordt snel moeilijker naarmate ze een groter volume innemen.

Men heeft geen methode om ^{46}Sc in zandkorrels aan te brengen [9]). Een goede en economische oplossing echter bestaat daarin, het isotoop te binden aan een anorganische ionenuitwisselaar. Krachtens hun functie — het binden van ionen uit een oplossing, die men door een met de uitwisselaar volgepakte kolom laat stromen — moeten ionenuitwisselaars een korrelstructuur hebben. Sommige hebben een korrelgrootte welke die van zeezand nabijkomt. Bovendien kunnen de uitwisselaars ionen van het driewaardige scandium zo sterk

[7]) Zie b.v. N. Warmoltz en P. P. M. Schampers, Een zakdosismeter voor röntgen- en gammastraling met ingebouwde laadinrichting, Philips techn. T. **16**, 134-139, 1954.

[8]) De wekelijks toegestane dosis is inmiddels verlaagd tot 100 mr als gemiddelde waarde, maar er worden pieken toegestaan, mits in totaal 3 r in 13 weken niet wordt overschreden.

[9]) Dit is wel gelukt met ^{140}Ba, een isotoop dat eveneens in aanmerking komt, doordat het dochterprodukt ^{140}La harde gammaquanta levert. Zie D. B. Smith en J. D. Eakins, Unesco Conf. Radio-isotopes in sci. Res., Parijs, sept. 1957, paper no. 63.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

binden dat latere uitwisseling met de één- en tweewaardige ionen in zeewater verwaarloosbaar gering blijft. Dit is de reden waarom dergelijke stoffen, vooral de klei-achtige zeolieten, zelfs gebruikt worden om radioactieve afvalstoffen van kernreactoren „op te ruimen", d.w.z. op ontoegankelijke plaatsen duurzaam te deponeren. Een der zeolieten, het zogenaamde „greensand", dat in de handel verkrijgbaar is onder de naam „Ionac C 50", heeft een dichtheid (2,72-2,76) die dicht bij die van noordzeezand ligt (2,65-2,68), en het kan gemakkelijk de nodige hoeveelheid scandium opnemen.

Wat dit laatste betreft, mag men zelfs lang niet zo ver gaan als het „Ionac C 50" zou kunnen. De activiteit per gewichtseenheid van de tracer, of, om duidelijker te zijn: de activiteit per zeolietkorrel, mag nl. om twee redenen niet te groot worden. Ten eerste mogen mensen en vissen die een aantal korrels inslikken er geen schade van ondervinden. Ten tweede moet bij de meting, nog in de meest verdunde toestand van de activiteit, deze door zoveel korrels gedragen worden dat de statistische schommelingen in het aantal korrels, aanwezig in het „gezichtsveld" van de scintillatieteller, voldoende klein blijven. We kunnen aanknopen bij de hierboven uitgevoerde berekening (zie formule (1) en de bijbehorende beschouwingen) en het vereiste aantal korrels voor één meting stellen op 100. Aan het begin van de beschreven proef is dan een totaal aantal van ca. $2{,}5 \times 10^9$ korrels vereist. Bij een gemiddelde korreldiameter van 200 μ betekent dit dat men de totale te deponeren activiteit van ca. 6 curie moet laten opnemen door op zijn minst 25 kg van de ionenuitwisselaar.

De activiteit per korrel is dan klein genoeg dat ze de vissen, ook al eten deze een groot aantal van de wijd en zijd verspreide korrels, geen kwaad doet. Baders aan zee zouden in de uiteindelijke verdunning ettelijke kilogrammen zeezand moeten verzwelgen voor ze de toelaatbare hoeveelheid activiteit binnenkrijgen. A fortiori is de hoeveelheid activiteit waarmee baders, op het strand liggend, in aanraking kunnen komen, ver beneden de toelaatbare grenzen.

Een, voor het hele onderzoek typische, moeilijkheid bij het „Ionac C 50" was deze dat de korrels minder hard zijn dan de zandkorrels, waarmee zij worden gemengd. Tijdens het sedimenttransport langs de zeebodem worden de korrels derhalve door het zand geërodeerd, hun grootteverdeling wijzigt zich snel, en door de dan optredende segregatie gaan de transporteigenschappen weer te sterk van die van het zand verschillen. Men kan echter de hardheid der korrels van „Ionac C 50" aanmerkelijk opvoeren door het materiaal te gloeien bij 750 °C. De opneemcapaciteit en de opneemsnelheid van het gegloeide materiaal voor het ^{46}Sc blijken nog groot genoeg te zijn, dat men — wat natuurlijk het gemakkelijkst is — het gloeien kan uitvoeren vóór men het actieve isotoop in het „Ionac C 50" laat opnemen; de beperkte hoeveelheid activiteit die men per korrel wil hebben, wordt in ongeveer 2 uur geabsorbeerd (de ongegloeide korrels nemen dezelfde hoeveelheid reeds in 3 minuten op). Dat de erosie na het gloeien voldoende gereduceerd is, wordt aannemelijk gemaakt door *fig. 9*: een mengsel van gegloeid „Ionac C 50" en kwartszand werd gedurende 10 uur in een betonmengmolen in beweging gehouden; de korrelverdeling bleef hierbij redelijk constant. Roeren van het „Ionac C 50" met zeewater gedurende 48 uur gaf geen meetbaar verlies aan ^{46}Sc-activiteit te zien.

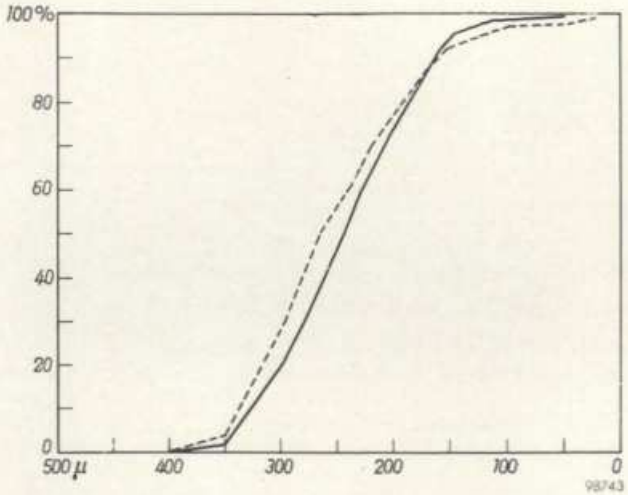


Fig. 9. Korrelgrootteverdeling van een bepaald mengsel van zand en gegloeid „Ionac C 50" (de ionenuitwisselaar waarin het radioactieve isotoop ^{46}Sc wordt opgenomen). Uitgezet is het gewichtspercentage dat in korrels met een grootte boven de op de abscis afgelezen waarde voorkomt. Gestippeld: hetzelfde na bewegen van het in water gesuspendeerde mengsel gedurende 10 uren in een betonmolen. De verdeling is bijna niet veranderd, de korrels van het gegloeide „Ionac C 50" worden dus door het zand vrijwel niet meer geërodeerd.

De metingen voor de kust van het Deltagebied, die inmiddels een aanvang hebben genomen, worden dan ook met dit tracermateriaal uitgevoerd.

De thans begonnen metingen voor de kust

In april 1958 werd een proefmeting in de mond van het Haringvliet gedaan (storting van de tracer in punt *A* van fig. 2), waarbij enerzijds de methode „in het veld" werd getoetst en anderzijds de eerste gegevens werden verkregen omtrent het zandtransport in dit, voor de Deltawerken op dit ogenblik bijzonder belangrijke, gebied.

Het meetgebied werd ook vóór het plaatsen van het tracermateriaal afgetast op radioactieve straling, ten einde de achtergrond te bepalen, die bij de metingen in aftrek moet worden gebracht. Hierbij kwamen reeds enige onvermoede feiten aan

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

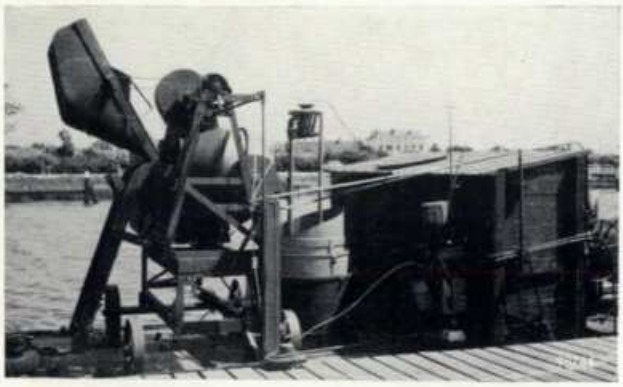


Fig. 10. Installatie op een zolderschuit, voor het bereiden van het te storten tracermateriaal [10]). In een oplosvat (op de foto niet zichtbaar) wordt een ampul met radioactief ^{46}Sc, verkregen uit een kernreactor, verbrijzeld en de inhoud opgelost in salpeterzuur. De oplossing wordt geneutraliseerd en met water verdund, en vervolgens met behulp van perslucht overgebracht naar de links zichtbare mengmolen met de gewenste hoeveelheid „Ionac C 50". Na enkele uren mengen is het ^{46}Sc voldoende gelijkmatig over de korrels van de ionenuitwisselaar verdeeld. De molen wordt geledigd in het rechts ernaast staande vat, waarin het tracermateriaal naar de stortplaats wordt vervoerd. Rechts naast dit vat ziet men een grote kist, die met zand is gevuld ter bescherming van het personeel tegen de straling. Vanachter deze kist wordt de gehele installatie op afstand bediend.

het licht. Het zand van de zeebodem bleek een veel hogere natuurlijke radioactiviteit te bezitten dan het zeewater. Deze radioactiviteit blijkt geconcentreerd te zijn in de zware mineralen, die 1 à 5% van het zeezand uitmaken; vermoedelijk is ze afkomstig van insluitingen van uranium of thorium in het mineraal zirkoon. De achtergrond-impulsdichtheid van de zeebodem bleek bovendien plaatselijk sterk te verschillen: gemiddeld bedraagt ze ongeveer 200 imp/min, doch op sommige plaatsen stijgt ze tot 500 imp/min. Hieruit kon worden afgeleid in welke gebieden een relatief hoog gehalte aan zware mineralen en grove zandkorrels wordt neergeslagen — een conclusie betreffende het zandtransport die aldus werd verkregen nog vóórdat de eigenlijke tracermetingen (met de kunstmatige tracer!) waren begonnen.

Voor het aanbrengen van het radioactieve isotoop in de gewenste hoeveelheid tracermateriaal is op een zolderschuit een installatie gebouwd, die in *fig. 10* is afgebeeld en toegelicht [10]). Het deponeren van het materiaal op de beraamde stortplaats geschiedt vanaf een vaartuig met behulp van een speciaal geconstrueerd vat, o.a. voorzien van een verticaal beweegbaar, op de zeebodem neer te laten, scherm om te voorkomen dat het geloste zand reeds tijdens het zinken zou worden verspreid door de stroom.

De detector (scintillatieteller) voor de activiteitsmetingen is thans, met de nodige afscherming, ondergebracht in een 2 meter lange slede, welke door een meetvlet over de zeebodem wordt gesleept (*fig. 11*). De detector houdt hierbij automatisch een constante afstand van 20 cm tot het zandoppervlak (fig. 3). Aan boord van de vlet is een impulsdichtheidsmeter met registreertoestel geplaatst, alsmede een voedingsapparaat dat de 1700 à 2000 V gelijkspanning voor de detector levert. Deze gehele apparatuur wordt gevoed uit een 220-V-wisselspanningsaggregaat en is met de sleepdetector verbonden door een 6-aderige kabel.

De nauwkeurigheid van de gehele methode wordt mede bepaald door de nauwkeurigheid in de plaatsbepaling van de sleepdetector. Oorspronkelijk werd met de vlet zo goed mogelijk gevaren in een meetlijn, een „raai", die door op de wal uitgezette merktekens was gedefinieerd (*fig. 12*). De plaats op deze raai werd met een sextant bepaald. Thans beschikt de Deltadienst over een apparatuur voor radiografische plaatsbepaling („Decca Survey System", dat voor het eerst werd toegepast in 1944 bij de geallieerde landingen op de kust van Normandië). Hierbij heeft men een systeem van hyperbolische coördinaten, bepaald door drie radiozenders — bij Rilland-Bath, Sluis en Schipluiden —, en de plaats van de varende meetvlet kan in deze coördinaten worden bepaald door aflezen van twee meetklokken aan boord van de vlet [11]). Binnen de zeegaten levert dit systeem een nauwkeurigheid van 3 tot 4 m, erbuiten nog van 5 tot 8 m, terwijl met de boven beschreven oude methode de meetfout ca. 20 m kon bedragen. De plaats van de slede ten opzichte van de vlet berekent men uit lengte en doorhang van de sleepkabel en uit de waterdiepte, waarbij een correctie wordt toegepast voor de invloed van de stroom.

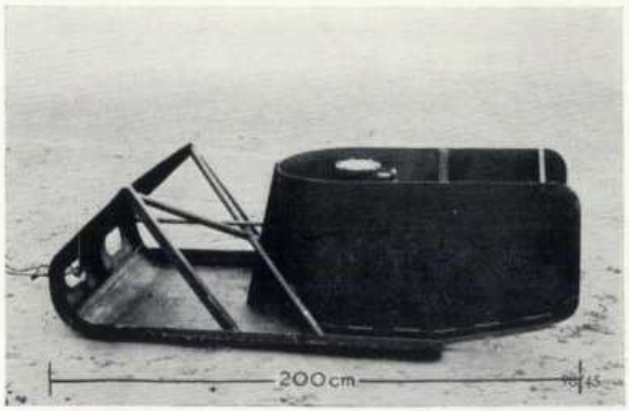


Fig. 11. Slede, waarin de scintillatieteller met zijn afscherming is ondergebracht. Deze „sleepdetector" wordt door een meetvlet over de zeebodem in het te onderzoeken gebied gesleept. Hij is door een 6-aderige kabel met het instrumentarium op de vlet verbonden.

[10]) Een beschrijving van de werkmethode in het veld is gegeven in het Driemaandelijks Bericht „Deltawerken" no. 6, nov. 1958, blz. 22-28, waaraan ook de figuren 10-12 zijn ontleend.

[11]) Driemaandelijks Bericht „Deltawerken" no. 7, febr. 1959, blz. 5-10.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

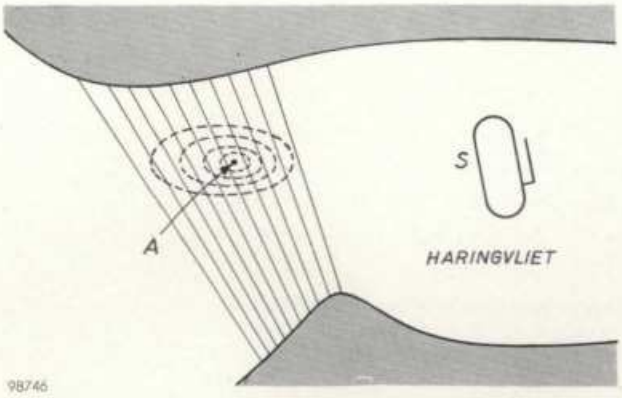


Fig. 12. „Raaien" in het Haringvliet, gedefinieerd door op de wal uitgezette merktekens. Bij *A* werd het tracermateriaal gestort. De meetvlet vaart, terwijl de stralingsintensiteit continu wordt geregistreerd, telkens zo goed mogelijk langs een raai, om een nauwkeurige plaatsbepaling mogelijk te maken. Door combinatie van alle metingen bepaalt men, op verschillende tijdstippen, de lijnen van gelijke activiteit, zoals ze hier gestippeld zijn aangeduid. — De navigatie op raaien is sinds kort vervangen door het veel nauwkeuriger „Decca Survey System".

Zeer onlangs (juni 1959) is met een grote meetserie een aanvang gemaakt, en wel voor het bepalen van het huidige zandtransport in de omgeving van de mond van de Rotterdamse Waterweg. Hiertoe is in een drietal punten op de Maasvlakte (punten *B, C, D* in fig. 2) in totaal ca. 300 kg tracermateriaal, gemerkt met ca. 6 curie ^{46}Sc, geplaatst. De resultaten van deze metingen, samen met de uitkomsten van het modelonderzoek, zullen mogelijk leiden tot conclusies omtrent de invloed die de bouw van de Europoort en de afsluiting van het Haringvliet zullen hebben op de toestand voor de mond van de Waterweg.

Samenvatting. Het sedimenttransport langs de zee- of rivierbodem door stromingen en door golven speelt bij waterstaatkundige werken een voorname rol. Het zandtransport voor de Nederlandse kust moet bij de uitvoering van het Deltaplan, waardoor het beeld der stromingen zich ingrijpend zal wijzigen, terdege in het oog worden gehouden, om afslag van de kust of dichtslibben van haveningangen te kunnen voorkomen. Een zeer doeltreffende methode voor de directe meting van het zandtransport is het deponeren van een radioactief „gemerkte" hoeveelheid zand op een bepaalde plaats van de zeebodem, met aansluitende metingen van de activiteit, gedurende een zekere tijd, op diverse plaatsen in de omtrek. Een ruwe berekening toont aan, dat men hierbij met hoeveelheden radioactief materiaal van vele curies zal moeten werken. Om zich te oriënteren omtrent de problemen die daarbij kunnen optreden, vooral wat betreft de bescherming van de bij de metingen betrokken personen, is door de Rijkswaterstaat in samenwerking met het Isotopenlaboratorium van Philips-Roxane een voorbereidende proef gedaan in het waterloopkundig laboratorium De Voorst in de Noordoostpolder. Als tracer dienden daarbij glasparels, geactiveerd (isotoop ^{24}Na) door bestraling in de Noors-Nederlandse kernreactor te Kjeller. Bij de werkelijke metingen, die thans in het Haringvliet en voor de mond van de Rotterdamse Waterweg zijn begonnen, wordt gewerkt met ^{46}Sc, dat een gunstiger halveringstijd dan ^{24}Na bezit (85 dagen) en een voor de metingen zeer geschikte straling oplevert. Het te storten materiaal moet natuurlijk dezelfde transporteigenschappen bezitten als het zeezand. Bij de glasparels is dat, zoals ook bij de proeven bleek, geenszins het geval. Het ^{46}Sc kan echter opgenomen worden in een zeoliet, een korrelige ionenuitwisselaar („greensand", „Ionac C 50"), die zeer sterk op noordzeezand lijkt. Ter vergroting van de hardheid der korrels wordt de ionenuitwisselaar tevoren op hoge temperatuur gegloeid.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EXPERIMENTEN OP HET GEBIED VAN PARAMETRISCHE VERSTERKING

621.375.9

In vele laboratoria wordt op het ogenblik hard gewerkt aan het theoretisch en praktisch ontginnen van de methode der parametrische versterking. Het principe van deze versterkingsmethode is in het geheel niet nieuw, maar ze is, na een lange halfslaap, pas in de laatste jaren actueel geworden door het zoeken naar mogelijkheden voor ruisarme versterking van zeer zwakke signalen. Men denke b.v. aan de radioastronomie en de ruimtevaart. Bij versterkers met de min of meer traditionele elektronenbuizen is men bij het verlagen van het ruisniveau principieel beperkt door de statistische fluctuaties van de elektronenemissie uit de hete katode, bij versterkers met transistors door het statistische karakter van de diffusie en recombinatie van ladingdragers, die hier de versterking bepalen. Bij parametrische versterking komen zulke effecten niet noodzakelijk in het geding: deze versterking berust op het periodiek variëren van een parameter van een trillingssysteem, b.v. de stijfheid bij een mechanisch systeem, of de capaciteit bij een elektrische kring. In principe moet het mogelijk zijn, bij deze wijze van versterken een uiterst laag ruisniveau te bereiken [1]).

Hoewel reeds ettelijke theoretische studies over het mechanisme van de parametrische versterking zijn verschenen en ook de praktische toepassing met succes is geprobeerd, kan men niet zeggen dat de werking al in dezelfde mate wordt begrepen en beheerst als die van de versterkers met buizen en transistors. Zo is het b.v. nog niet mogelijk een parametrische versterker optimaal te ontwerpen voor een gegeven frequentiekarakteristiek (bandbreedte). De interpretatie van experimenten op dit gebied wordt veelal bemoeilijkt doordat men geen zuivere condities heeft en derhalve te maken krijgt met verschillende effecten die door elkaar lopen.

Ons eigen werk op dit gebied heeft geleid tot het maken van een eenvoudige opstelling, waarmee enige fundamentele inzichten exact konden worden getoetst en ook verdere experimenten kunnen worden gedaan. We willen deze opstelling en enkele proefresultaten hier in het kort beschrijven. Aan de beschrijving laten we een beknopte uiteenzetting over het principe van de parametrische versterking voorafgaan.

[1]) Voor zover ons bekend, is dit het eerst naar voren gebracht door A. van der Ziel, J. appl. Phys. **19**, 999, 1948. — Elektrische kringen met variërende parameters werden reeds behandeld door B. van der Pol, Experimental Wireless **3**, 338, 1926.

Trekt men in het juiste ritme in de lengterichting aan een gespannen, enigszins elastische snaar, dan kan deze spontaan in transversale trilling geraken, met een frequentie gelijk aan de helft van die waarmee men trekt (proef van Melde, *fig. 1*). Min of meer het elektrische analogon van dit reeds zeer lang

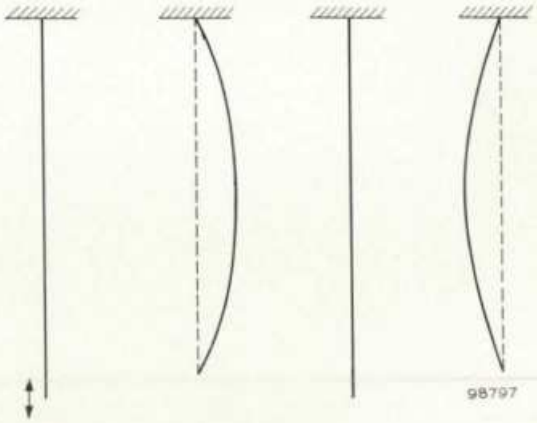


Fig. 1. Trekt men periodiek, met frequentie F, in de lengterichting aan een elastische snaar, dan geraakt de snaar spontaan in transversale trilling met de eigen frequentie f, mits men $F = 2f$ kiest (proef van Melde, Ann. Physik. u. Chemie **109**, 193, 1860).

bekende verschijnsel krijgt men als in een LC-keten de capaciteit periodiek wordt gevarieerd. Stel dat de capaciteit bestaat uit een platencondensator, met plaatafstand d_0, en dat in de (weerstandsloze) kring een wisselstroom loopt, met de eigen frequentie $f = 1/(2\pi\sqrt{LC})$. De lading van de condensator, en dus ook de spanning, verloopt dan sinusvormig met de tijd. We trekken nu de beide platen van de condensator schoksgewijs telkens tot een afstand $d_0+\delta$ uit elkaar (*fig. 2*) wanneer de lading en dus de spanning van de condensator een maximum bereikt — ongeacht welke der platen positief is —, en we bewegen de platen weer naar elkaar toe op

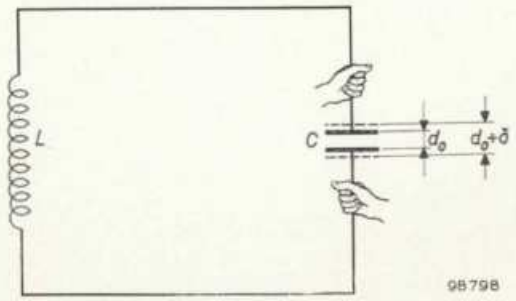


Fig. 2. Elektrische trillingskring met een platencondensator, waarvan de platen op bepaalde ogenblikken uit elkaar getrokken en weer naar elkaar toe bewogen worden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de ogenblikken dat de platen ongeladen zijn en er dus geen spanningsverschil is. Het eerste kost arbeid, het laatste levert geen arbeid op, er wordt dus telkens energie aan de kring toegevoerd. Het gevolg is dat de amplitude van de wisselspanning toeneemt, er treedt een „ontdemping" op. In *fig. 3* is nader getoond, hoe dit proces verloopt. Is er in het begin nog geen stroom, dan is toch al een minieme evenwichtsverstoring, in de vorm van een uiterst kleine lading — zoals altijd wel aanwezig is —, voldoende om het proces in gang te zetten en aldus de elektrische trilling in de *LC*-keten spontaan te doen aanlopen. De frequentie waarmee men de capaciteit varieert (de platen heen en weer beweegt), de zg. pompfrequentie, kiest men daarbij het gunstigst twee maal zo groot als de eigen frequentie van de kring — analoog als in het mechanische geval.

Het feit van het ontdempen van een kring, dat uit te drukken is als het in de kring werkzaam zijn van een negatieve weerstand, sluit de mogelijkheid van het versterken van een gegeven ingangssignaal in. Toch is de situatie in dat opzicht niet zo eenvoudig, o.a. wegens de zojuist genoemde frequentieconditie. De moeilijkheid wordt verduidelijkt door de volgende beschouwing. Het is voor het ontdempen van een trilling niet noodzakelijk dat het pompen precies in faze met de trilling gebeurt (*fig. 4*). De netto energietoevoer uit de pomp daalt echter met toenemende fazehoek φ. De toevoer wordt nul bij $\varphi = 45°$, en negatief bij nog grotere φ, d.w.z. de

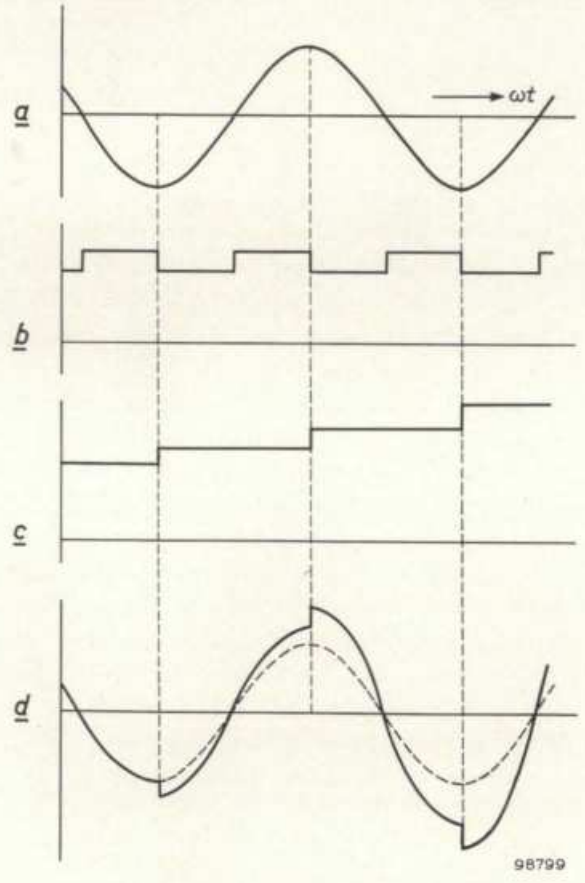


Fig. 3. Mechanisme van de parametrische versterking in de keten van fig. 2. In de aanvangstoestand moge een kleine wisselstroom in de (weerstandsloze) kring vloeien. De lading en de spanning van de condensator verlopen dan sinusvormig met de tijd (*a*). De platen van de condensator worden nu op zodanige tijdstippen verplaatst dat de capaciteit volgens de kanteelkromme (*b*) varieert. De energie in de kring neemt door dit „pompen" stapsgewijs toe (*c*), en hetzelfde geldt voor de amplitude van de spanning op de condensator (kromme *d*).

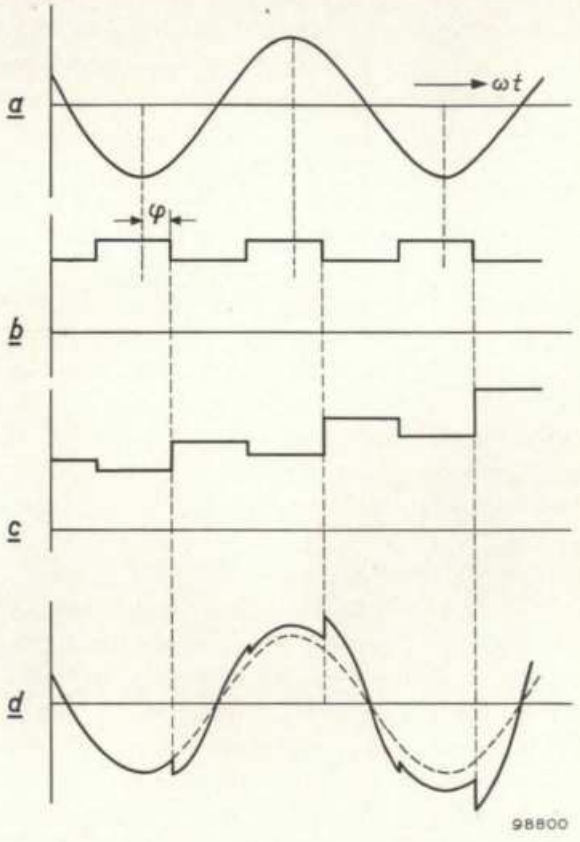


Fig. 4. Gebeurt de capaciteitsvariatie (*b*) niet in faze met de wisseling van de lading op de condensator (*a*), doch met een fazeverschil φ, dan gaat de energie in de kring afwisselend met een stap omhoog en met een stap omlaag (*c*). De stappen omhoog zijn groter dan die omlaag, indien $0 < \varphi < 45°$ of $135° < \varphi < 180°$. Dan neemt de condensatorspanning dus toe (*d*); bij $45° < \varphi < 135°$ neemt ze af.

trilling wordt dan gedempt in plaats van versterkt. De demping is het grootst bij $\varphi = 90°$. Wijkt nu de halve pompfrequentie iets af van de eigen frequentie *f*, dan is dit gelijkwaardig met een continue verandering van de faze, de trilling wordt dus afwisselend versterkt en (zij het in geringere mate) gedempt, d.w.z. ze wordt in amplitude gemoduleerd.

Bij de pogingen tot praktische realisatie van parametrische versterking van radiosignalen, waarbij men een bruikbare versterking in een redelijk

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

brede frequentieband wil verkrijgen, heeft men de beschreven moeilijkheid omzeild door ingewikkelder schakelingen, met twee of meer eigen frequenties, te gebruiken [2]). Een andere vraag is, hòe het pompen moet geschieden. De sprongsgewijze capaciteitsvariatie, bewerkstelligd door de platen van de condensator in fig. 2 met de handen heen en weer te bewegen, is natuurlijk niet voor praktische uitvoering bedoeld. Maar ook elke andere mechanische variatie van een parameter van de trillingskring loopt bij de zeer hoge frequenties, waarom het hier begonnen is, vast op de te grote versnellingskrachten. Bij de genoemde pogingen bedient men zich voor het pompen dan ook van spanningsafhankelijke capaciteiten (of van stroomafhankelijke zelfinducties). Een voorbeeld van een spanningsafhankelijke capaciteit is de germaniumdiode, die men in het gebied der cm-golven kan toepassen. De capaciteit daarvan is afhankelijk van de negatieve voorspanning. Superponeert men hierop een wisselspanning (de pomp- of stuurspanning), dan heeft men een periodiek variërende capaciteit. Men heeft hiermee reeds parametrische versterkers geconstrueerd, waarvan wordt medegedeeld dat ze ook, zoals voorspeld, gunstige ruiseigenschappen bezitten [3]). Theoretisch echter zijn deze systemen moeilijk aan te pakken. De capaciteit van de diode hangt nl. niet alleen van de pompspanning af, maar eveneens van de te versterken spanning van de trillingskring zelf (bovendien is het verband tussen capaciteit en spanning niet lineair, wat een verdere complicatie betekent). Men spreekt hier wel van „autoparametrische" systemen, in tegenstelling met de „heteroparametrische" systemen (zoals in fig. 2), waarbij de te variëren parameter alleen door de pomp wordt beïnvloed, en ook niet merkbaar op de pomp terugwerkt. Ook als men een stroomafhankelijke zelfinductie gebruikt, b.v. een spoel of trilholte met een kern van ijzer of ferroxcube die men met een pompstroom in wisselende mate verzadigt (in wezen de voor lage frequenties reeds lang gebruikte „magnetische versterker"), heeft men een autoparametrisch systeem, daar de kringstroom zelf eveneens tot de verzadiging bijdraagt.

Varieert in fig. 2 de plaatafstand volgens $d = d_0 + \delta \cos 2\omega t$, dus de capaciteit volgens

$$C = \frac{C_0}{1 + \frac{\delta}{d_0} \cos 2\omega t}, \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

dan geldt voor de lading Q van de condensator in dit heteroparametrische systeem de differentiaalvergelijking van Mathieu (lineaire differentiaalvergelijking van de tweede orde met tijdsafhankelijke coëfficiënten):

$$\frac{d^2Q}{dt^2} + \frac{1}{LC_0}\left(1 + \frac{\delta}{d_0} \cos 2\omega t\right) Q = 0. \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

De oplossingen hiervan, waarbij er één voorkomt met de hoekfrequentie $\omega = 1/\sqrt{LC_0}$ (frequentiehalvering), zijn bekend en hun eigenschappen zijn uitvoerig onderzocht [4]), men kan ze dus hanteren, al is de behandeling niet eenvoudig.

Bij autoparametrische systemen daarentegen krijgt men te maken met niet-lineaire differentiaalvergelijkingen, die in het algemeen niet exact maar slechts met benaderingsmethodes op te lossen zijn. Het is dan zeer moeilijk of onmogelijk een overzicht van de eigenschappen der oplossingen te krijgen.

Hoewel dus de praktijk in de richting van autoparametrische systemen wijst, is het voor het fundamentele onderzoek over de parametrische versterking toch gewenst, zich in eerste instantie te beperken tot de, voor theoretische behandeling iets beter toegankelijke, heteroparametrische systemen, zoals de mechanisch gevarieerde condensator.

In de jaren '30 heeft men reeds getracht de mechanische capaciteitsvariatie te realiseren, door als pomp te gebruiken een door een motor aangedreven draaiende condensator [5]). Inderdaad lukte het hiermee het spontaan aanlopen van trillingen in een LC-keten, met een eigen frequentie van 28 kHz, aan te tonen.

We hebben nu een soortgelijke opstelling gemaakt, waarbij de capaciteitsvariatie wordt bewerkstelligd door een beter handelbaar element en waarbij meer mogelijkheden voor verdere proeven aanwezig zijn, nl. door een magnetostrictieve triller. De pomp bestaat uit een, in *fig. 5* getekende, raamkern van een geschikt soort ferroxcube, zoals tegenwoordig veel wordt gebruikt voor ultrasone trillers [6]). Deze kern is in het midden ingeklemd en wordt in longitudinale trilling gebracht door middel van een wikkeling, aangesloten op een ultrasone generator met een frequentie van 22 kHz. Op elk der beide, parallel geslepen, kopvlakken is een metalen plaatje

---

[2]) De faze-afhankelijkheid van de ontdemping wordt juist nuttig gebruikt in het door Japanse onderzoekers geïntroduceerde „parametron", waarin de twee toestanden van al of niet oscilleren dienen voor het vastleggen van 1 bit informatie, op analoge wijze als b.v. de magnetisatietoestand in de bekende geheugenringetjes van ferriet.

[3]) A. Uhlir jr., Junction diode amplifiers, Scientific American **200**, no. 6, 118, juni 1959. — Een overzicht over parametrische versterking inclusief een uitvoerige literatuurlijst vindt men in: H. Heffner, Solid state microwave amplifiers, Inst. Rad. Engrs. Trans. MTT **7**, jan. 1959.

[4]) Zie b.v. E. J. Whittaker en G. N. Watson, A course of modern analysis, Cambridge University Press, Londen 1920, 3e druk, hfdst. 19, § 19.7.

[5]) L. Mandelstam, N. Papalexi, A. Andronov, S. Chaikin en A. Witt, Exposé des recherches récentes sur les oscillations non linéaires, Techn. Phys. USSR **2**, 127, 1935.

[6]) Zie b.v. C. M. van der Burgt, Ferroxcubemateriaal voor piëzomagnetische trillers, Philips techn. T. **18**, 285-298, 1956.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van 30×80 mm geplakt. Op een afstand $d_0 = 80$ micron is tegenover elk plaatje een, hiermee evenwijdige, vaste elektrode opgesteld. De beide bewegende plaatjes zijn elektrisch verbonden en vormen de ene plaat, de eveneens verbonden vaste elektrodes de andere plaat van een condensator. De totale capaciteit bedraagt, zoals men gemakkelijk uitrekent, 532 pF. Om een trillingskring met een resonantiefrequentie $\omega/2\pi$ van 11 kHz te krijgen — de helft van de pompfrequentie, zie boven —, hebben we een zelfinductie $L = 0{,}395$ henry nodig.

Een der voordelen van deze opstelling is dat men zonder moeite een zuiver sinusvormige variatie van de reciproke capaciteit kan realiseren. In dat geval is een exacte theoretische behandeling mogelijk (men heeft het geval van verg. (1) en (2), de Mathieu-vergelijking). In het bijzonder kan men aantonen dat voor het parametrisch exciteren van de eigen trilling van de kring minstens een bepaalde amplitude δ van de condensatorplaten nodig is, en dat deze vereiste minimumamplitude kleiner is naarmate de trillingskring een hogere kwaliteitsfactor $K = \omega L/R$ heeft (R is de serieweerstand van de spoel). Men vindt nl., bij niet te grote δ/d_0, de voorwaarde (grens van het zg. eerste stabiliteitsgebied van de Mathieu-vergelijking [4])):

$$\frac{\delta}{d_0} K > 2. \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Bij onze ultrasone triller is door de breuksterkte van de kern de amplitude δ beperkt tot 1 micron. Met behulp van (3) volgt hieruit dat de spoel van de trillingskring zodanig geconstrueerd moet worden dat de kringkwaliteit K minstens 160 bedraagt.

De experimenten bevestigden de geldigheid van deze voorwaarde. In *fig. 6* ziet men twee spoelen die beide de vereiste zelfinductie en een ruimschoots voldoende kwaliteit bezitten; de ene is een luchtspoel, de andere heeft een ferroxcubekern.

De amplitude die de spanning op de condensator bereikt wanneer de trilling door het pompen wordt opgeslingerd, hangt theoretisch alleen af van het vermogen van de pomp. Het aan de kring afgegeven vermogen is $P = \frac{1}{2}\omega C_0 V^2/K$. Bij $C_0 = 532$ pF en $K = 200$ wordt reeds bij een vermogen P van 1 watt, dat voor de magnetostrictieve resonator nog vrijwel geen merkbare belasting vormt, een spanning $V = 3300$ volt bereikt. Een zo hoge spanning zou natuurlijk onze condensator, met een luchtspleet

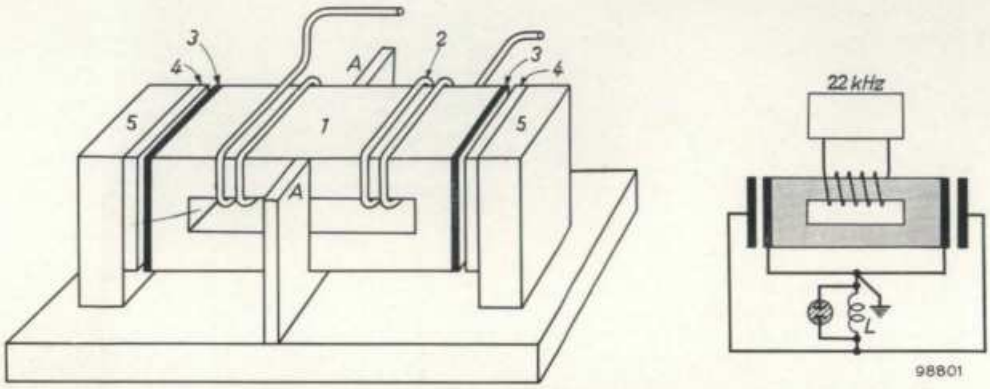


Fig. 5. Constructie van de „magnetostrictieve pomp". *1* raamkern van piëzomagnetisch ferroxcube [6]), ingeklemd bij *A*; *2* wikkeling om de kern, waardoor men de stroom van een ultrasone generator met een frequentie van 22 kHz stuurt; *3* metalen plaatjes, op de kern geplakt; *4* vaste platen, op 80 μ afstand evenwijdig met *3* geplaatst; *5* isolatiemateriaal. Rechts is het principeschema van de gehele opstelling getekend. De spoel L moet aan bepaalde voorwaarden betreffende zelfinductie en kwaliteit voldoen.

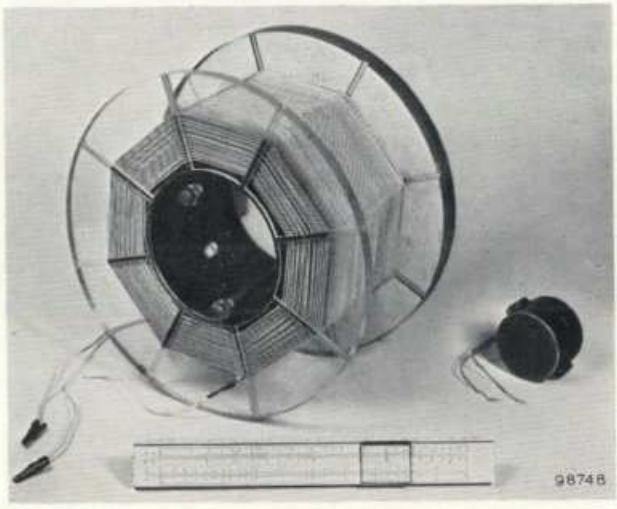


Fig. 6. Twee spoelen, waarmee het optreden van parametrische versterking door de magnetostrictieve pomp kon worden gedemonstreerd. Links luchtspoel, rechts spoel met een ferroxcubekern.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

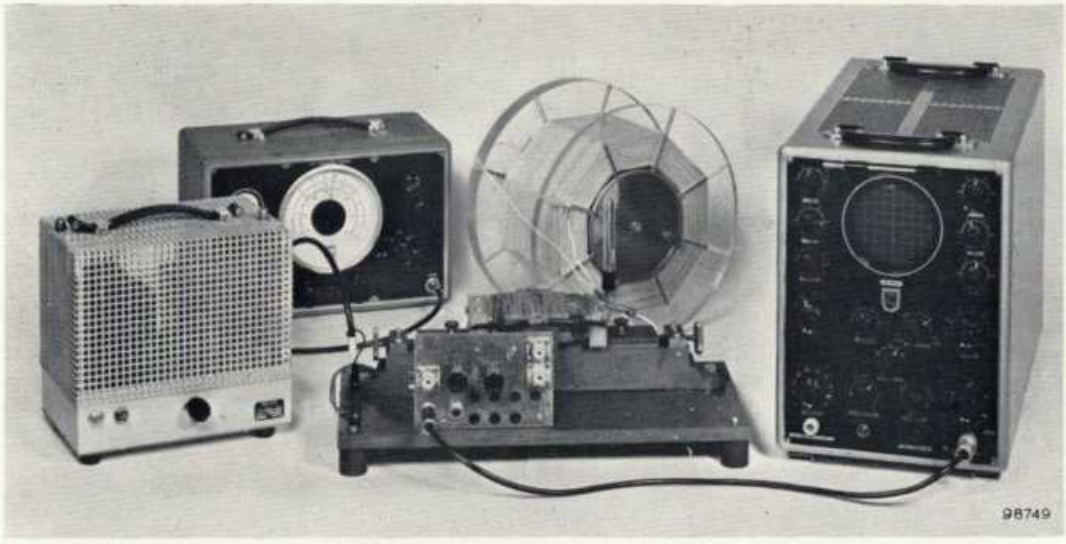


Fig. 7. De complete opstelling. In het midden de magnetostrictieve triller, met daarachter de luchtspoel (vgl. fig. 6). Parallel hiermee is een neonlampje geschakeld ter begrenzing van de spanning. Links de ultrasone generator, bestaande uit een toongenerator en een versterker, rechts een oscilloscoop voor het waarnemen van de opgeslingerde trilling.

van 80 μ, doen doorslaan. Bij gebruik van de luchtspoel in onze opstelling bleek het inderdaad nodig, ter beveiliging van de condensator de spanning te begrenzen. Hiervoor wordt een neonlampje parallelgeschakeld. Op de foto *fig.* 7, die de complete opstelling toont, is dit lampje te zien. Bij gebruik van de spoel met ferroxcubekern is de beveiliging niet nodig: de condensatorspanning blijkt hier niet boven 250 volt te stijgen, hetgeen geweten moet worden aan verzadiging van het ferroxcube.

Met de afgebeelde opstelling kunnen we ook op eenvoudige wijze het versterken demonstreren. *Fig.* 8 geeft het schema hiervoor. De pompamplitude wordt zo ingesteld dat er juist nog geen spontaan trillen optreedt. Als ingangssignaal voeren we aan de versterker b.v. een signaal van 11 kHz van een toongenerator toe, in de juiste faze. Aan de uitgang kan dan het signaal worden gemeten bij in- en uitgeschakelde pomp: we vonden aldus een 20-voudige spanningsversterking.

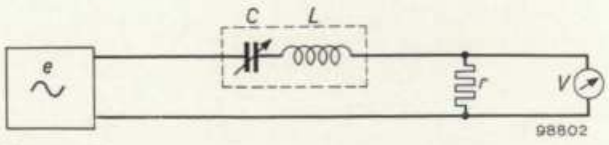


Fig. 8. Schema voor het demonstreren van parametrische versterking met de beschreven opstelling; *e* signaalbron (toongenerator), *r* belastingsweerstand, *V* voltmeter.

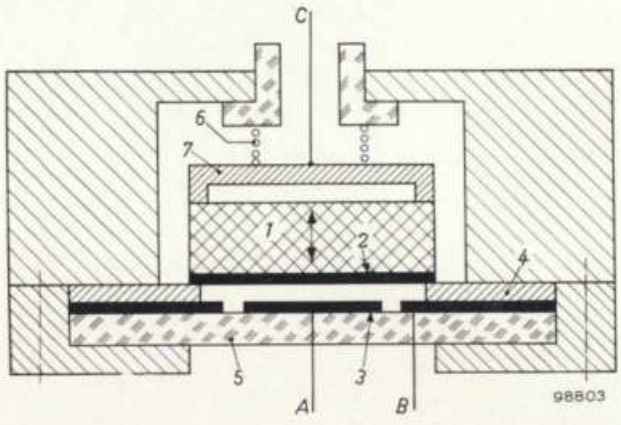


Fig. 9. Piëzo-elektrische triller als pomp, met een pompfrequentie van 3 MHz. *1* resonerend kwartskristal van 19×19×0,95 mm (X-snede), dat een diktetrilling uitvoert; *2* en *3* opgedampte zilverlagen; *4* metalen afstandring van 25 μ dikte; *5* kwartsglazen plaat; *6* drukveer en *7* drukplaat; *A* en *B* aansluitingen voor de zelfinductie; *C* aansluiting voor het exciteren van het kwartskristal.

Een soortgelijke opstelling als hierboven beschreven, hebben we gemaakt met een piëzo-elektrische triller als pomp. De triller bestaat uit een ca. 1 mm dik kwartskristalplaatje, met oppervlakte ca. 20×20 mm², dat men een diktetrilling laat uitvoeren (*fig.* 9). De pompfrequentie is hier 3 MHz. Hiermee werden analoge resultaten verkregen als bij de magnetostrictieve pomp.

B. BOLLÉE en G. de VRIES.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

METALEN VACUÜMAPPARATUUR

533.599:621.791.856.3

Het vacuümdicht lassen van werkstukken, gemaakt van materialen die men gaarne gebruikt voor de constructie van vacuümapparatuur — staal, niet-magnetisch chroomnikkelstaal, aluminium, nikkel en koper —, is eerst goed mogelijk geworden toen de techniek van het booglassen in een edelgasatmosfeer ontwikkeld was. Bij deze wijze van lassen wordt de elektrische boogontlading, die zich tussen het werkstuk en de laselektrode bevindt, omspoeld door een edel gas dat de lucht wegdringt; oxydatie van het hete metaal is dan uitgesloten.

De hierbij gebruikte edele gassen — in de Verenigde Staten helium of argon, in Europa argon — danken hun bijzondere geschiktheid, behalve aan hun chemische inactiviteit, aan het feit dat ze in de genoemde metalen slecht oplossen. Gebruikt men een gas dat wèl goed in het vloeibare metaal oplost, dan komt dat bij het stollen weer grotendeels vrij en kan poriën of scheuren doen ontstaan. Zo is b.v. waterstof, dat voor het lassen van ijzer redelijk goed geschikt is, o.a. onbruikbaar voor het lassen van legeringen die nikkel bevatten (zoals niet-roestend staal) [1]).

De genoemde mogelijkheid om vacuümdichte lassen van de normaal gebruikte metalen te maken, stelt de vacuümtechnici thans in staat, metalen onderdelen voor vacuümopstellingen te construeren die vrij zijn van lekken. Met behulp van deze componenten kan men opstellingen bouwen die niet alleen robuust en goed vacuümdicht zijn, maar die bovendien goed ontgast kunnen worden. We beschrijven hier een aantal van zulke componenten, alle gelast in argon, alsook een complete hiermee gebouwde vacuümopstelling, die geschikt is voor velerlei toepassingen.

Natuurlijk kan men de juistgenoemde voordelen ook hebben, indien men niet last maar soldeert. Het solderen van werkstukken van chroomnikkelstaal — voor vacuümapparatuur een veel gebruikt materiaal — is echter pas mogelijk nadat men eerst een goed hechtende laag van een ander materiaal heeft aangebracht, en bovendien is het solderen van grote en gecompliceerde werkstukken verre van eenvoudig. Het lassen verdient dus vaak de voorkeur boven solderen en is niet zelden de enige bruikbare methode [2]).

Als eerste voorbeeld van een geheel metalen apparaat noemen we de koeler die men schematisch vindt afgebeeld in *fig. 1*. Deze koeler heeft een bijzonder kleine stromingsweerstand (groot geleidingsvermogen). Een glazen koeler van dezelfde afmetingen kan in principe wel gemaakt worden, maar is zeer breekbaar en moeilijk op de leidingen van een vacuümopstelling aan te sluiten. Om de eigenlijke vacuümruimte heen is voor warmte-isolatie een dikke laag silica-aërogel aangebracht. Hierdoor is het

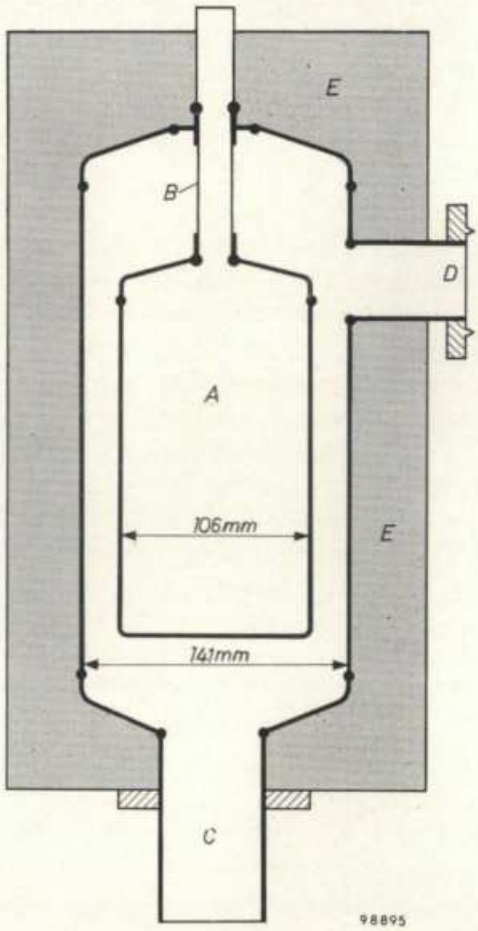


Fig. 1. Schematische voorstelling van een geheel metalen koeler, van niet-roestend staal (18% Cr, 8% Ni, 74% Fe). Het vat *A*, dat ca. 1,5 l vloeibare lucht kan bevatten, hangt aan de buis *B*, die ter wille van een geringe warmtegeleiding een dunne wand heeft. De koeler is bedoeld om boven een kwikdiffusiepomp geplaatst te worden (aansluiting bij *C*) en heeft bij de temperatuur van vloeibare lucht (—183 °C) voor stikstof een geleidingsvermogen van 18,7 l/s. Door de koeler eens in de 7 à 10 dagen — b.v. gedurende het weekende — wat warmer te laten worden, kan men het kwik dat zich op de buitenwand van *A* bevindt, laten smelten; het vloeit dan vanzelf naar de pomp terug. De vacuümopstelling kan worden aangesloten bij *D*. De ruimte *E* is voor warmte-isolatie gevuld met silica-aërogel. De in argon gelaste naden zijn aangeduid met een stip in de lijn.

[1]) Vgl. R. A. Weinman en I. Langmuir, General Electric Review **29**, 160, 1929.

[2]) Een uitvoerige behandeling van las- en soldeertechnieken die in aanmerking komen voor de fabricage van vacuümapparatuur, is gegeven door W. Espe, Vakuumtechnik **4**, 51, 1955; een beschrijving van het booglassen in argon vindt men bij N.E. Anderson, Welding J. **28**, 222, 1949.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

verbruik van vloeibare lucht gereduceerd tot minder dan 2 l per etmaal. De koeler is bijzonder geschikt om direct boven een kwikdiffusiepomp gemonteerd te worden. De wijze van aansluiten zal uiteraard van de constructie van de pomp afhangen; de aansluiting is in de figuur dan ook niet getekend. Wel getekend is de aangelaste flens (bij *D*) waarmee de aansluiting op de verdere opstelling plaatsvindt. Daar de in het volgende te beschrijven apparaten alle met flenzen van dit type zijn uitgerust, bespreken we die thans even afzonderlijk.

Een meer gedetailleerde tekening van een stel van deze flenzen vindt men in *fig. 2a*. De op buis *1* gelaste flens draagt een niet zeer scherpe ringvormige borst *2*, de flens van de andere buis heeft precies daartegenover een geringe uitholling. Tussen de beide flenzen wordt een pakking van vrij zacht koper gelegd (*3*), die ca. 0,3 mm dik is. Het oppervlak van beide flenzen, die bij voorkeur van niet-roestend staal gemaakt worden, moet goed gepolijst zijn: met een 10× vergrotende loep mag men er geen krasjes op waarnemen. Aan de koperen pakking — elektrolytisch koper, dat niet zuurstofvrij behoeft te zijn, voldoet zeer goed — behoeven niet zulke hoge eisen gesteld te worden. De dikte van de flenzen moet bij een buisdiameter van 4 tot 8 cm ongeveer 10 mm bedragen; bevindt zich dicht bij de flens een metaal-glasverbinding, dan verdient het aanbeveling voor deze dikte 15 tot 20 mm te kiezen, wil men zeker zijn dat bij het aandraaien van de moeren op de bouten *4* het glas niet springt.

Uit experimenten is gebleken dat men de zojuist beschreven koppeling 48 uur op een temperatuur van 500 °C kan houden (voor ontgassen b.v.) zonder dat enig ongewenst effect optreedt. Ook behoeven na het afkoelen de moeren niet opnieuw te worden aangedraaid. Koper verdient uit een oogpunt van verhittingsmogelijkheid als pakkingsmateriaal blijkbaar de voorkeur boven lood (dat vrij laag smelt) of aluminium (dat vloeit, zodat men na de verhitting de moeren opnieuw moet aandraaien).

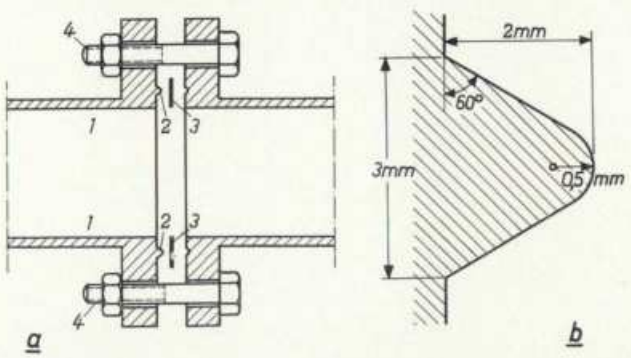


Fig. 2. Koppeling voor metalen vacuümapparatuur. *a*) De op buis *1* gelaste flens draagt een ringvormige borst *2*, de flens van de andere buis heeft daartegenover een lichte uitholling. De pakking (*3*) is van koper (dikte ca. 0,3 mm). De flenzen worden tegen elkaar getrokken met een krans van bouten *4*, die een onderlinge afstand van 2 à 3 cm hebben. *b*) Doorsnede van de borst *2*.

Voor buizen met niet al te kleine diameter (>1 cm) kan men ook de in *fig. 3* geschetste wijze van koppelen gebruiken. Hierbij worden niet de flenzen, maar de buizen zèlf tegen elkaar gedrukt. Er is hier dus geen vacuümdicht laswerk nodig.

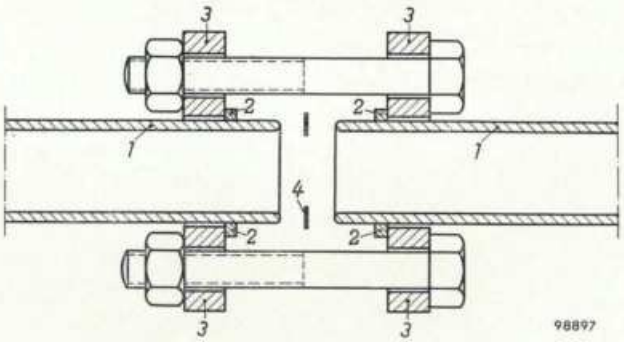


Fig. 3. Vacuümkoppeling voor niet te dunne buizen. *1* de te koppelen buizen met afgeronde uiteinden, *2* daarop gelaste flenzen, *3* losse ringen met gaten voor trekbouten, *4* koperen pakking.

Thans bespreken we de drie vacuümkranen, die men vindt afgebeeld in *fig. 4*. De kleinste is geheel van metaal, in de twee andere vindt de afsluiting plaats door middel van „Teflon" [3]). De grootste kraan heeft, geopend, een geleidingsvermogen voor stikstof van 28 l/s en is dus o.a. zeer geschikt voor gebruik als pompkraan. Het principe ervan vindt men schematisch voorgesteld in *fig. 5*. De vacuümruimte wordt gevormd door het huis *A* en de balg *B*, die beide van niet-roestend staal zijn vervaardigd. In het huis kan zich, langs twee leistaven *C*, de klep *D* bewegen. Deze klep heeft aan de onderzijde een rechthoekige ringvormige groef, waarin zich de „Teflon" ring *E* bevindt. Door aan het handwiel *G* te draaien, kan men *D* naar beneden doen schuiven en de ring *E* op de als zitting fungerende borst *F* drukken. De „Teflon" ring en de metaaloppervlakken waarmee deze in aanraking komt, zijn goed gepolijst. Mocht er aan de afsluiting iets mankeren, dan kan men dat bij een kraan van dit type zeer eenvoudig verhelpen door hem in gesloten toestand korte tijd te verhitten: het „Teflon" vloeit dan nl. een beetje. In geopende toestand kan men de kraan zonder schade langdurig verwarmen (maximumtemperatuur ca. 300 °C).

De middelste kraan van fig. 4 is wat de constructie betreft sterk verwant aan de juistgenoemde;

[3]) E.I. du Pont de Nemours.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

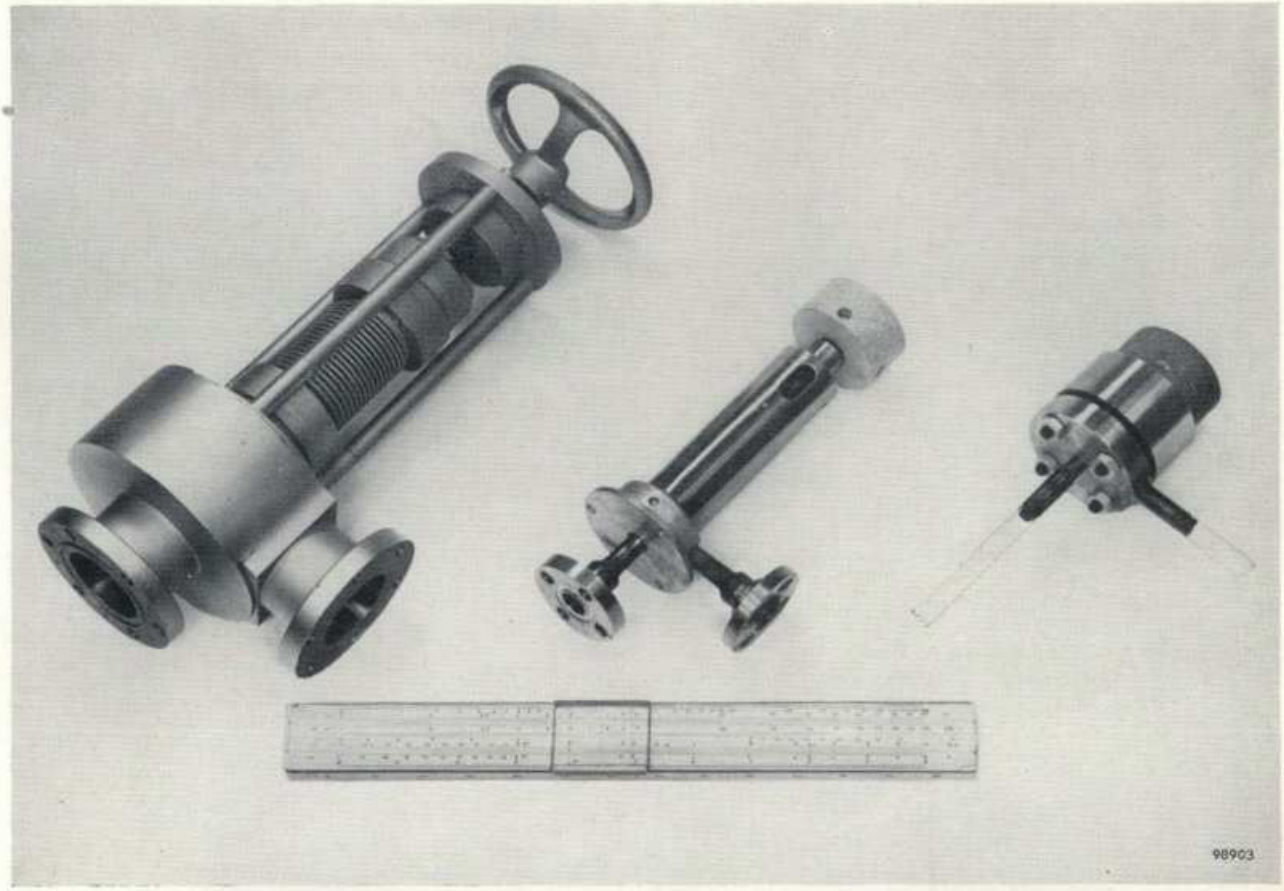
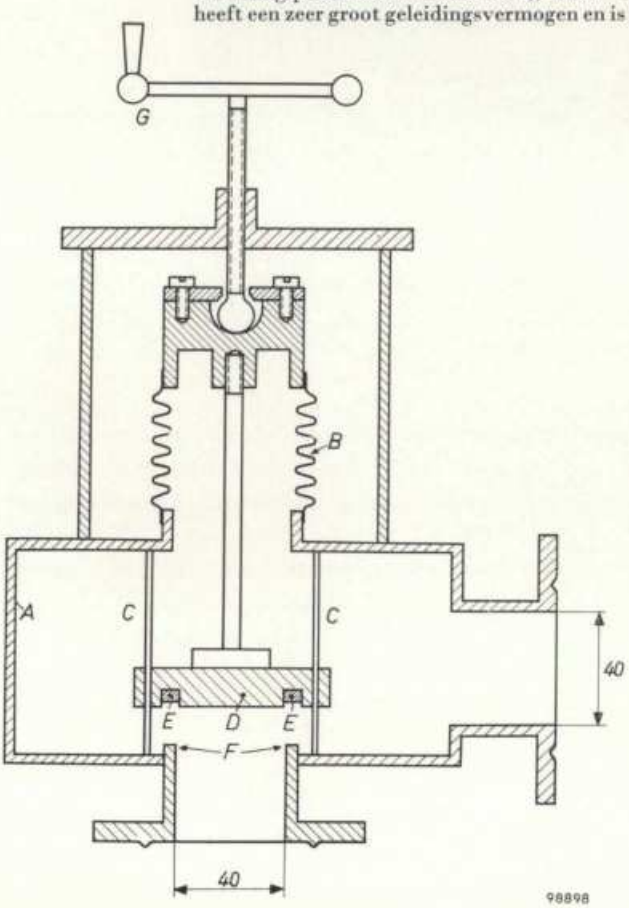


Fig. 4. Metalen kranen voor gebruik in vacuümapparatuur. Bij de twee grootste vindt de afsluiting plaats door middel van „Teflon" [3]; de kleinste is geheel van metaal. De grootste heeft een zeer groot geleidingsvermogen en is derhalve o.a. bijzonder geschikt als pompkraan.



ook hier vindt de afsluiting plaats door middel van „Teflon". De kraan heeft echter een kleiner geleidingsvermogen (0,25 l/s). We gebruiken deze in gasinlaatsystemen en manometeraansluitingen.

De ervaring heeft geleerd dat kranen van beide typen, na enige jaren gebruikt te zijn, nog vrijwel geen slijtage of lekkage vertonen.

De kleinste kraan van fig. 4 (rechts) heeft een nog geringer geleidingsvermogen (0,1 l/s), maar heeft het voordeel geheel van metaal te zijn en derhalve tot een hogere temperatuur verhit te kunnen worden dan de beide voorgaande. De constructie van de kraan wijkt niet alleen af van die van de twee andere doordat er geen „Teflon" gebruikt is, maar óók doordat de balg vervangen is door een membraan (*fig. 6*). Indien zulk een kraan nog nieuw is, is de lek ervan kleiner dan 10^{-11} cm³/s. Nadat hij enige malen verhit is, is de lek ca. 10^{-8} cm³/s. Door deze kleine lek is de kraan bijzonder ge-

Fig. 5. Schematische voorstelling van grote metalen kraan met „Teflon" afsluiting. *A* huis, *B* balg, *C* leistaven voor de klep *D*, *E* ring van „Teflon", *F* zitting waarop de „Teflon" ring gedrukt wordt, *G* handwiel op schroefas.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

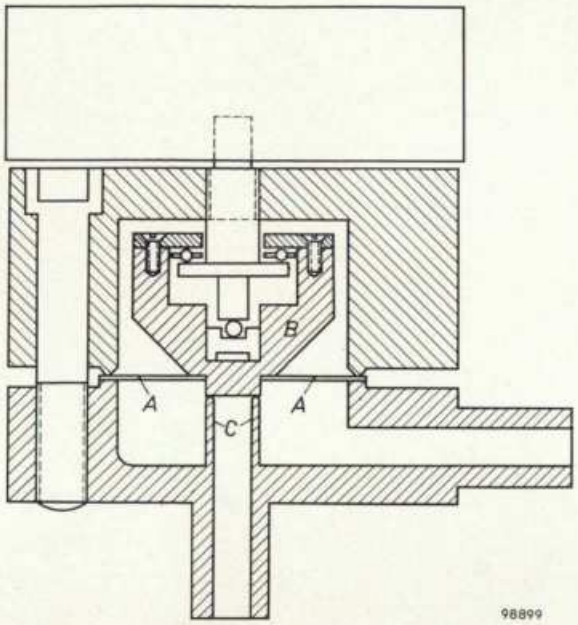


Fig. 6. Kleine, geheel metalen kraan. *A* membraan, *B* koperen blok dat op de stalen buis *C* gedrukt kan worden.

lasmethode gemaakt werkstuk noemen we nog de massaspectrometerbuis die men vindt afgebeeld in *fig. 7*. Voor de details ervan verwijzen we naar het onderschrift van de figuur.

De eerder genoemde geheel metalen vacuümopstelling, die geschikt is voor velerlei toepassingen, vindt men schematisch afgebeeld in *fig. 8*. Op de vacuümtank *A*, die verbonden is met een (niet getekende) roterende oliepomp, bevindt zich de kwikdiffusiepomp *B* [5]) en daarboven een koeler *C* van het in dit artikel beschreven type (fig. 1). Deze is via een grote metalen kraan *D* met „Teflon" sluiting (fig. 4 en 5) verbonden met een korte en wijde pijp *E*, waarop de ionisatiemanometer *J* (meetgebied 10^{-8} tot 10^{-3} mm Hg) en de Penning-manometer *P* zijn aangebracht. Aan de onderzijde ervan bevindt zich een flens waarmee men het te evacueren proefvat *F* op de opstelling kan aansluiten. De pompsnelheid aan de mond van *B* bedraagt 30 l/s; door het gebruik van onderdelen met groot geleidingsvermo-

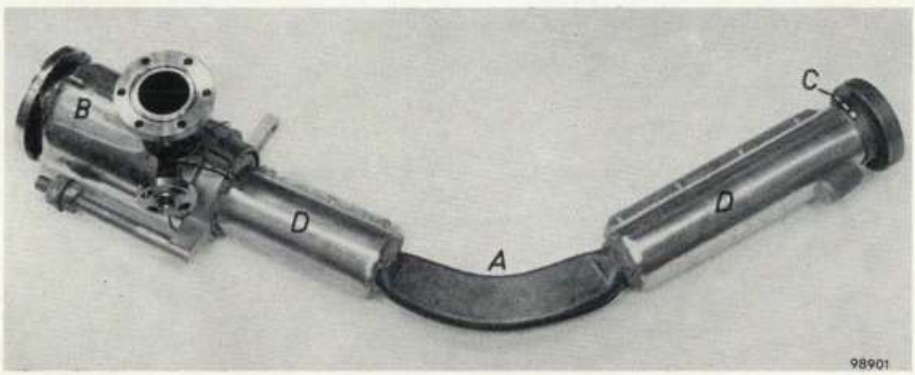


Fig. 7. Vacuümkamer voor massaspectrometer. Het gebogen middendeel *A* (van koper) wordt in het apparaat tussen de polen van een magneet geplaatst. Aan de uiteinden van de rechte delen bevinden zich ruimten, waarin de ionenbron en de ionencollector kunnen worden aangebracht (*B* resp. *C*). Deze zijn vervaardigd van niet-magnetisch, niet-roestend staal (25% Cr, 20% Ni). Behalve de verbinding staal-koper, die in een stikstofatmosfeer gesoldeerd is, zijn alle onderdelen gelast in argon. De rechte delen van de koperen buis zijn op de foto aan het oog onttrokken door de verwarmingselementen *D*.

schikt voor gebruik in een gasinlaatsysteem. Aan kranen van gasinlaatsystemen worden nl. hoge eisen gesteld. Behoeven andere vacuümkranen in de regel slechts hoogvacuüm van laagvacuüm te scheiden, de eerstgenoemde kranen moeten niet zelden een voorraadvat (druk b.v. 1 atm) scheiden van hoogvacuüm [4]).

Als laatste voorbeeld van een met de argon-

gen is deze grootheid ter plaatse van de flens van het pompvat niet sterker gedaald dan tot 10 l/s. Indien de opstelling voldoende wordt ontgast — rondom *D* en *E* zijn daartoe verhittingselementen en warmteisolerende lagen aangebracht, *I* en *P* staan in een oven —, kan men een einddruk bereiken van $1{,}0\times10^{-7}$ mm Hg. Indien men de kraan *D* sluit en verder pompt met de ionisatiemanometer [6]), kan een einddruk van minder dan 10^{-8} cm Hg bereikt worden.

[4]) Het meten van de genoemde kleine lek evenals het op vacuümdichtheid onderzoeken van onderdelen (en hele opstellingen) geschiedt met behulp van een als lekdetector gebruikte kleine massaspectrometer. De kleinste lekken die men daarmee vinden kan, zijn van de orde van grootte van 10^{-12} cm³/s. Een dergelijk instrument vindt men beschreven in N. Warmoltz en H. A. M. de Grefte, Le Vide **12**, 202, 1957.

[5]) De redenen die ons kwik doen prefereren boven olie, vindt men besproken in A. Venema en M. Bandringa, Het verkrijgen en meten van extreem lage drukken, Philips techn. T. **20**, 97-109, 1958 (speciaal blz. 101).

[6]) Zie b.v. blz. 98 van het onder [5]) aangehaalde artikel.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het overige gedeelte van de opstelling biedt de gebruiker de mogelijkheid om het proefvat F te vullen met het een of andere gas. Een aantal daartoe te gebruiken gassen bevindt zich onder een druk van ca. 1 atm in de ballons Z, die via kleine metalen kranen K (fig. 6) in verbinding gebracht kunnen worden met de leiding H. Het gasinlaatsysteem kan afzonderlijk geëvacueerd worden via de leiding N. De kranen G_1 en G_2, die daarbij resp. gesloten en open zijn, zijn van het type van de middelste kraan in fig. 4. Met de membraanmanometer M [7]) (meetgebied 10^{-5} tot 10 mm Hg) kan men de druk van het gas dat uit een der vaten Z in H werd toegelaten,

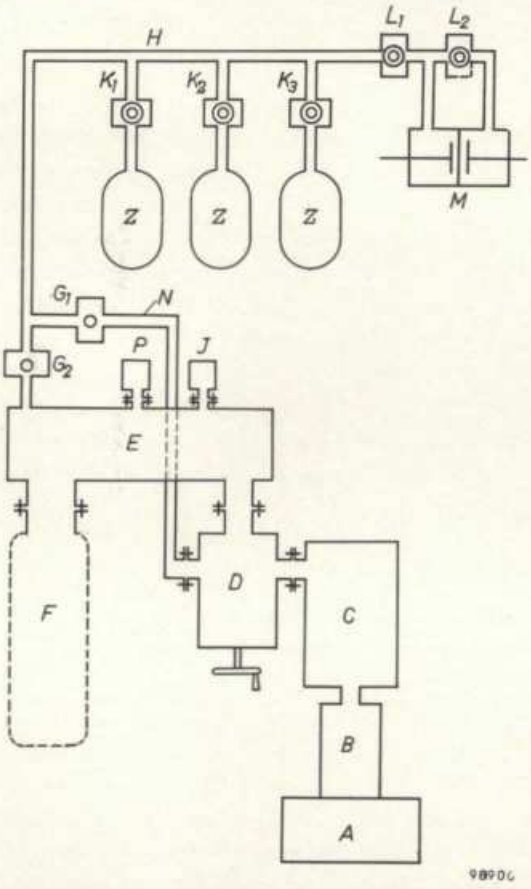


Fig. 8. Schema van geheel metalen vacuümopstelling met gasinlaatsysteem. A vacuümtank, B kwikdiffusiepomp, C koeler, D grote metalen kraan met „Teflon" sluiting, E wijde stalen pijp met Penning-manometer (P), ionisatiemanometer (J) en aansluitflens voor proefvat (F), G metalen kranen met „Teflon" sluiting, H buis van gasinlaatsysteem, K en L kleine geheel metalen kranen, Z voorraadvaten, M membraanmanometer. Het gasinlaatsysteem kan afzonderlijk geëvacueerd worden via de buis N.

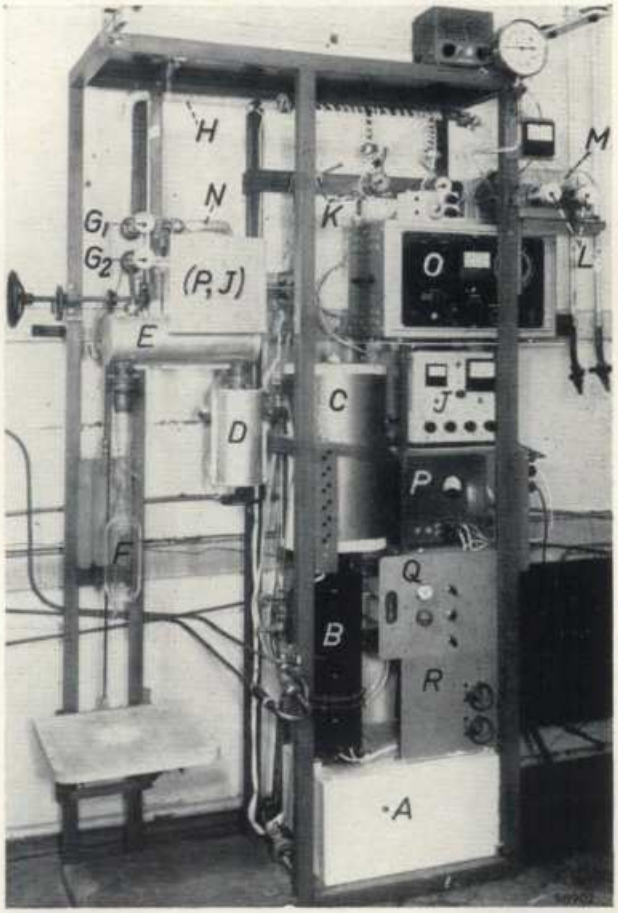


Fig. 9. De besproken vacuümopstelling. De letters hebben dezelfde betekenis als in fig. 8; de manometers P en J bevinden zich achter de plaat (P, J). De bijbehorende elektronische schakelingen (rechts) zijn eveneens resp. met P en J aangeduid. Verder zijn nog: O elektronische schakeling behorende bij de membraanmanometer M, Q paneel met schakelaars, smeltveiligheid en signaallamp, en R paneel voor bediening van de kraan tussen de tank A en de (niet zichtbare) roterende oliepomp. Alle onderdelen zijn omwikkeld met verwarmingsdraad (eventueel plus isolerende laag) of bevinden zich in een oven (P en J).

meten. Door het aanbrengen van verwarmingsdraden is ook het gehele gasinlaatsysteem — inclusief de membraanmanometer, die tot 150 °C verhit mag worden — ontgasbaar. Indien de toevoer van koelwater voor de diffusiepomp stagneert, en ook indien de druk in E een zekere waarde overschrijdt, wordt ter voorkoming van schade o.a. de elektrische verwarming van de pomp automatisch uitgeschakeld. In *fig. 9* is een foto van de opstelling weergegeven.

Met een geheel metalen vacuümopstelling, zoals in dit artikel werd beschreven, werkt men sneller en zekerder dan met een glazen, en behoeft men geen tijd te besteden aan onderhoud (invetten van glazen kranen). Dank zij de afwezigheid van vet en rubber kan men verder een dergelijke opstelling ter ontgassing in zijn geheel verhitten.

N. WARMOLTZ en E. BOUWMEESTER.

[7]) Een beschrijving van dit type manometer vindt men in J. J. Opstelten en N. Warmoltz, Appl. sci. Res. **B4**, 329, 1955. De eerder genoemde Penning- en ionisatiemanometer vindt men resp. beschreven in F.H. Penning en K. Nienhuis, Philips techn. T. **11**, 116, 1949 en N. Warmoltz en E. Bouwmeester, Philips techn. T. **17**, 96, 1955.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN EXPERIMENTELE TRIODE VOOR 6000 MHz

621.385.3.029.64

Tijdens het ontwikkelingswerk, verricht aan de schijftriode EC 157 [1]), werd het duidelijk, dat een grensfrequentie van 4000 MHz, en daarbij een uitgangsvermogen van 1,5 W, niet het uiterste is dat met triodes kan worden bereikt [2]). Een triode, in staat tot het leveren van grotere vermogens — tot meer dan 10 W bij 4000 MHz —, is inmiddels in dit tijdschrift besproken [3]). Met een metaal-keramiekuitvoering van deze buis in oscillatorschakeling is het gelukt, voor een vermogen van meer dan 10 W de frequentie op te voeren tot ca. 5000 MHz [4]). In onderstaande korte mededeling wordt nu een experimentele triode beschreven die ontwikkeld is voor het versterken van signalen in de 6000-MHz-band (golflengte ca. 5 cm). Deze triode werd beproefd in een versterker die in hoge mate analoog is met de versterkers welke voor de EC 157 en de EC 59 waren vervaardigd. Met deze versterker levert een gemiddeld exemplaar van de buis, bij 6000 MHz en een bandbreedte van 100 MHz, een uitgangsvermogen van 1,5 W bij een versterking van 7 dB.

De overwegingen die een rol spelen bij het ontwerpen van een microgolftriode, zijn reeds enige malen in dit tijdschrift en elders ter sprake gekomen [5]). Daarom zij hier volstaan met een vergelijking van de nieuwe triode met de EC 157.

Uit theoretische beschouwingen is gebleken dat, in een triode, voor een bevredigende versterking de looptijd τ_{kg} van de elektronen tussen katode en rooster niet veel groter mag worden dan de helft van de trillingstijd T van het elektrische signaal. Het quotiënt τ_{kg}/T wordt gegeven door de formule:

$$\frac{\tau_{kg}}{T} = 6{,}7\times10^{-10}\, f\left(\frac{d_{kg}}{j}\right)^{\frac{1}{3}} \text{sec}, \quad . \; . \; . \quad (1)$$

waarin f de frequentie in Hz, d_{kg} de afstand katode-rooster in cm en j de stroomdichtheid in A/cm² voorstelt. Voor de EC 157 ($d_{kg} = 40\ \mu$, katode-oppervlakte 0,07 cm²) bij $f = 4000$ MHz en bij de gebruikelijke instelling van de anodestroom, $I_a = 60$ mA, is $j = 0{,}86$ A/cm² en $\tau_{kg}/T = 0{,}45$. Willen we een zelfde τ_{kg}/T hebben in een triode voor $f = 6000$ MHz, dan kunnen we blijkens verg. (1) de stroomdichtheid j vergroten en/of de afstand d_{kg} verkorten. De stroomdichtheid wordt door het dissipatievermogen van de anode beperkt tot ongeveer de bovengenoemde waarde. Anderzijds kan d_{kg} niet onbeperkt worden verkort, omdat in verband met de totale-emissiedemping de afstand tussen katode en potentiaalminimum (ca. 5 μ bij $I_a = 60$ mA) klein moet blijven ten opzichte van de afstand katode-rooster. Zou dit niet meer het geval zijn, dan zouden de elektronen die vóór dat minimum omkeren nl. een groot deel van het hoogfrequente veld doorlopen en daaruit energie meevoeren naar de katode. Daar deze energie dan niet gebruikt wordt voor het moduleren van de elektronenstroom tussen rooster en anode, betekent dit een verlies in versterking. Bij een experimenteel onderzoek, verricht aan de EC 157 bij 4000 MHz, bleek de invloed van de omkerende elektronen bij $I_a > 30$ mA verwaarloosbaar te zijn [6]). Op grond van deze overwegingen is voor de 6000-MHz-triode $d_{kg} = 25\ \mu$ gekozen. Bij gelijkblijvende katode-oppervlakte en bij $I_a = 60$ mA is dan $\tau_{kg}/T = 0{,}57$, wat een aanvaardbare waarde is.

Om voor hogere frequenties rondom de buis nog een afstembare anodetrilholte te kunnen construeren, zou men, bij gelijkblijvende anodeoppervlakte, de anode-roostercapaciteit kunnen verkleinen door de afstand rooster-anode, d_{ga}, te vergroten. Door dit laatste zou men echter, om dezelfde anodestroom te trekken, de anodespanning moeten verhogen, wat nadelig is in verband met de koeling (grotere anode-dissipatie). Een andere mogelijkheid om de afstembaarheid te behouden, is: de afmetingen van de trilholte *buiten de buis* kleiner kiezen dan bij de EC 157 het geval is. Voor een volgens dit laatste principe geconstrueerde versterker (zie beneden) zijn triodes gemaakt met $d_{ga} = 250\ \mu$, d.i. ongeveer dezelfde afstand als in de EC 157. Bij een anodegelijkspanning van 250 V kan hiermee voldoende stroom (> 60 mA) getrokken worden. De hoogste afstem-

[1]) De buis EC 157 onderscheidt zich van het oude type EC 57 door een katode met langere levensduur. De EC 57 is beschreven in G. Diemer, K. Rodenhuis en J. G. van Wijngaarden, Philips techn. T. **18**, 321-328, 1956.

[2]) J. G. van Wijngaarden, Nouvelles possibilités des triodes à disques scellés, Onde électrique **36**, 888-892, 1956.

[3]) V. V. Schwab en J. G. van Wijngaarden, De EC 59, een zendtriode met 10 W vermogen bij 4000 MHz, Philips techn. T. **20**, 295-304, 1958 (no. 10).

[4]) E. Mentzel en H. Stietzel, Een schijftriode in metaal-keramiek-uitvoering voor frequenties tot 6000 MHz, Philips techn. T. **21**, 115-120, 1959 (no. 4).

[5]) Zie de aangehaalde artikelen [1])[2])[3]), en verder H. Groendijk, Microwave triodes, Proc. Instn. Electr. Engrs. **105 B**, suppl. no. 10, 577-582, 1958.

[6]) M. T. Vlaardingerbroek, Measurement of the active admittances of a triode at 4 Gc/s, Proc. Instn. Electr. Engrs. **105 B**, suppl. no. 10, 563-566, 1958.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

frequentie voor de gebruikte versterker is hoger dan 6500 MHz. Voor dezelfde versterker werden eveneens buizen gemaakt met $d_{ga} = 300$ µ, die tot ruim 7000 MHz afstembaar bleken, en voor een zelfde I_a een iets hogere anodespanning behoeven.

De verliezen in de anodetrilholte ontstaan voor een groot gedeelte doordat de glazen ring tussen roosterschijf en anode hoogfrequent vermogen absorbeert. Door een speciaal hardglas te kiezen — de anode en de katode- en roosterschijf zijn van molybdeen, waarvan de uitzettingscoëfficiënt overeenkomt met die van verschillende hardglazen en dat bovendien elektrisch goed geleidt — en de glazen ring zo dun mogelijk te maken, konden de verliezen beperkt blijven tot 15 à 20% van het uitgangsvermogen.

De wijze van samenstellen van de 5-cm-triode is anders dan die van de EC 157. Gezocht is naar een mogelijkheid tot vereenvoudiging van het grootste constructieprobleem van de triode, nl. het verwezenlijken van de kleine afstand katode-rooster. Deze vereenvoudiging is gevonden in het van tevoren assembleren van het gedeelte van de triode dat in *fig. 1* met grijze tint is aangegeven. Dit gedeelte bestaat uit twee ringen *5* en *6* van molybdeen, die resp. de katode *1* en het roosterfreem *3* met het rooster *2* dragen en die door drie staafjes *7* van (synthetisch) saffier op een bepaalde afstand van elkaar gefixeerd zijn. Saffier is gekozen omdat dit materiaal zeer sterk is, hoge temperaturen verdraagt en goed aan metaal verbonden kan worden. We bespreken nu eerst de vervaardiging van dit katode-roostersamenstel.

Nadat de staafjes *7* via een keramiek-metaalverbinding aan de ringen *5* en *6* zijn gesoldeerd, wordt het van roosterdraden *2* voorziene roosterfreem *3* aan de ring *6* geschroefd. Het aldus verkregen samenstel wordt vervolgens in een instelmal (*fig. 2*) gezet, met het vlak van de roosterdraden *2* nauwkeurig loodrecht op de as *A* van de mal en met het rooster elektrisch geïsoleerd van die as. De as *A* draagt via een tang *T* en een busje *B* de katode *1*, waarbij het busje tussen het tantaalfoelie *8* en de katode wordt geschoven. Met de schroef *S* wordt *A* nu zo ver verplaatst dat het katodeoppervlak de roosterdraden

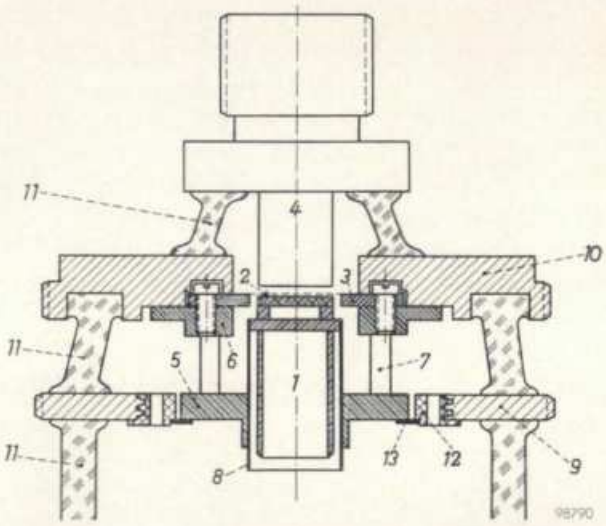


Fig. 1. Constructie van de 5-cm-triode. Het grijs aangegeven gedeelte wordt buiten de buis geassembleerd. *1* katode. *2* rooster. *3* roosterfreem. *4* anode. *5* katodering (molybdeen) met laskraag (nikkel). *6* roosterring (molybdeen). *7* saffieren staafjes die de ringen *5* en *6* fixeren. *8* tantaalfoelie van katode, aan de nikkelen laskraag van *5* gelast. *9* katodeschijf. *10* roosterschijf. *11* glazen omhulsel. *12* dichtring met pompgaten. *13* contactfoelie.

raakt. Door de geïsoleerde opstelling kan dit met een kortsluitmeter geconstateerd worden. Vervolgens wordt de katode over de gewenste afstand teruggedraaid, welke wordt afgelezen op het meetklokje *M*. Het vraagstuk van de planparallelliteit van roostervlak en katodeoppervlak is op deze wijze verplaatst naar de eenmalige constructie van de mal.

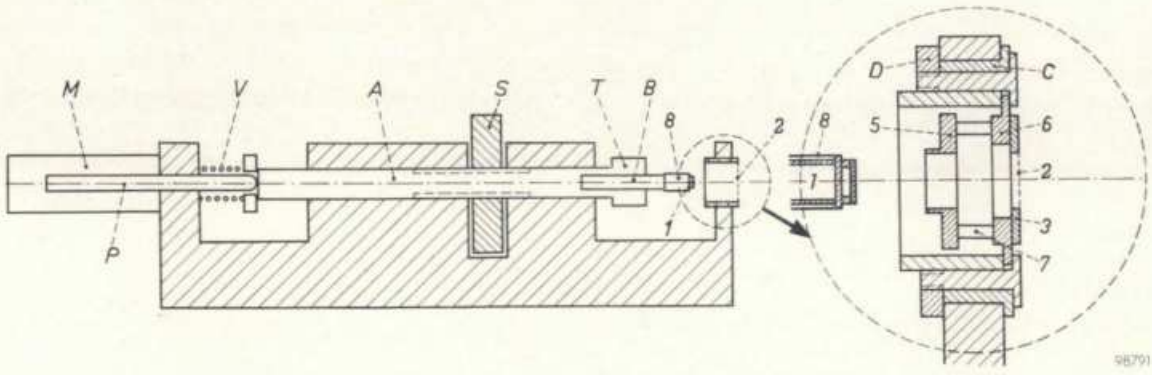


Fig. 2. Schets van de instelmal voor het katode-roostersamenstel. De buisonderdelen zijn met dezelfde cijfers aangegeven als in fig. 1. *C* isolerende ring van polytetrafluorethyleen. *D* idem van eboniet. De verplaatsbare as *A* draagt via tang *T* en busje *B* de katode *1*. *S* instelschroef. *P* taster van het meetklokje *M*. *V* veer ter voorkoming van speling.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De speling van de as is weggewerkt door de veer *V*. Wanneer de katode op de gewenste afstand is gekomen, wordt het tantaalfoelie *8* aan de katodering *5* van het samenstel gelast. Een moeilijkheid bij deze methode was dat hierbij de laatste bewerking het lassen is, wat plastische vervorming van het tantaalfoelie kan veroorzaken en daarmee verandering van de ingestelde afstand. Het bleek noodzakelijk de laskraag van de katodering van nikkel te maken, waardoor men slechts licht behoeft te lassen om het tantaalfoelie te bevestigen. Hierdoor blijft de plastische vervorming verwaarloosbaar klein. Van een reeks aldus vervaardigde katode-roostersamenstellen bleek bij controle met een microscoop de afstand katode-rooster steeds binnen 1 à 2 μ gelijk te zijn aan de ingestelde afstand (ca. 47 μ), terwijl de planparallelliteit eveneens goed was. Het katodefoelie is korter dan bij de EC 157, waardoor het verschil in lengte bij warme en koude katode kleiner wordt. De „warme" afstand katode-rooster bedraagt ca. 25 μ.

Het katode-roostersamenstel kan nu in het omhulsel van de buis geplaatst worden (fig. 1). De afstand rooster-anode is hierin reeds ingesteld door de anode *4* en het vlak van de roosterschijf *10* waartegen de roosterring *6* stuit, na het aansmelten van de glazen ringen *11* op de gewenste afstand af te draaien. Het katode-roostersamenstel wordt met drie schroefjes aan de roosterschijf *10* bevestigd. De ringvormige opening die voor deze handeling noodzakelijk is tussen katodering *5* en -schijf *9*, wordt gedicht met een ring *12* die in de katodeschijf wordt geschroefd en die via een foelie *13* met de katodering contact maakt. In de dichtring *12* zijn pompgaten geboord.

Fig. 3 toont een foto van de instelmal en de triode. De gehele fabricage vindt plaats in een stofvrij vertrek.

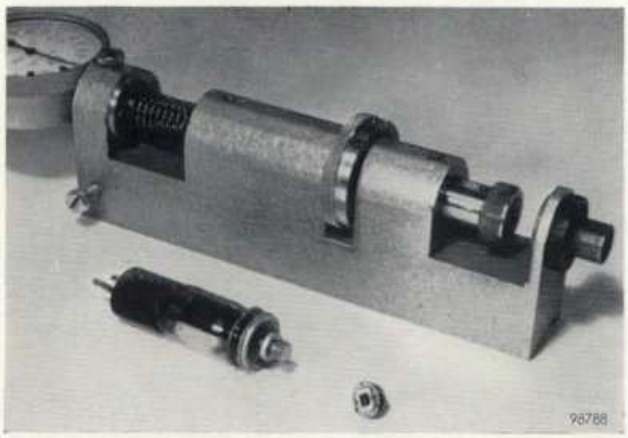


Fig. 3. Instelmal, 5-cm-triode en katode-roostersamenstel (het laatste met het rooster naar voren).

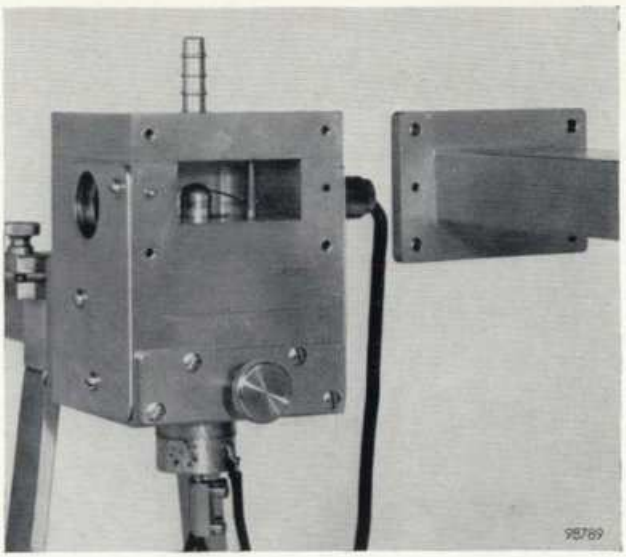


Fig. 4. Versterker voor de 5-cm-triode, gezien van de uitgangszijde.

De versterker is, in samenwerking met J. P. M. Gieles, geconstrueerd volgens hetzelfde principe als die voor de EC 157 [7]) en de EC 59 [8]). Voor de aanpassing van de versterker aan de ingangsgolfgeleider bleek het noodzakelijk een kwartgolflengtetransformator aan te brengen. Dit is, evenals bij de versterker voor de EC 59, gedaan door vóór de katode de hoogte van de ingangsgolfgeleider over ongeveer een kwart golflengte in de golfgeleider te wijzigen [8]). Om spreiding in de buizen op te kunnen vangen, zijn ook hier reactieve elementen extra aangebracht. De bandbreedte van het katodecircuit is groter dan 500 MHz. Aan de uitgangszijde is de constructie anders dan bij de EC 157, omdat de binnengeleider van de coaxiale leiding op de anode van de buis wordt vastgeschroefd. Het principe blijft echter gelijk. De versterker is afgebeeld in *fig. 4*.

Fig. 5 toont de statische karakteristieken, gemeten aan een gemiddeld exemplaar van de 5-cm-triode. De steilheid is meer dan 25 mA/V, de versterkingsfactor heeft een waarde van ca. 65.

Het produkt van vermogensversterking G en bandbreedte B van de anodetrilholte ligt voor de meeste exemplaren tussen 1000 en 2000 MHz (zie *fig. 6*, gemeten aan hetzelfde buisexemplaar als fig. 5; de spreiding in $G \times B$ van de gemeten buizen bedroeg ca. ± 1 dB). Opvallend is dat $G \times B$ sterk van B afhangt (zie onderschrift fig. 6). De verklaring hiervan kan slechts zeer ten dele wor-

---

[7]) J. P. M. Gieles, Philips techn. T. **19**, 149, 1957.
[8]) J. P. M. Gieles en G. Andrieux, Philips techn. T. **21**, 75, 1959 (no. 2/3).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

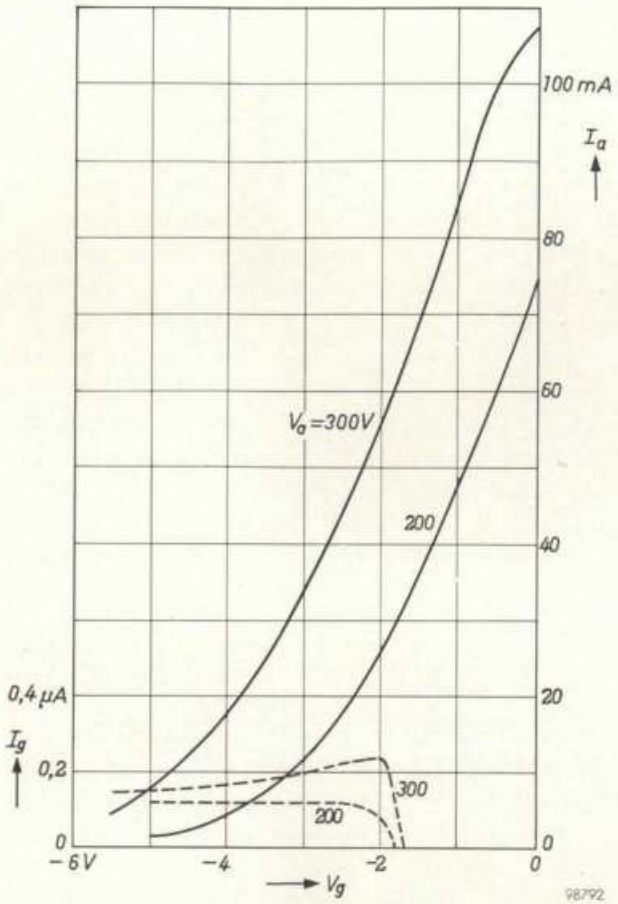


Fig. 5. Statische karakteristieken van een gemiddeld exemplaar van de 5-cm-triode.

den gevonden in het feit dat bij kleine B de verliezen in de anodetrilholte belangrijker worden. Deze bedragen bij $B = 100$ MHz in totaal 20%. De voornaamste oorzaak van het verschijnsel moet worden gezocht in de inwendige terugkoppeling van de buis. Deze terugkoppeling is ten dele capacitief, ten dele inductief. De capacitieve terugkoppeling wordt veroorzaakt door de anode-katodecapaciteit („Durchgriff" van de anode-wisselspanning door de roosterdraden), de inductieve kan worden beschreven door een inductief element in de roosterleiding [1])[9]). Beneden de zg. compensatiefrequentie overheerst de capacitieve terugkoppeling, daarboven de inductieve. Men kan nu bewijzen dat beneden de compensatiefrequentie het produkt $G \times B$ moet toenemen met afnemende B. Voor de EC 157, waarvan de compensatiefrequentie bij ca. 5200 MHz ligt, blijkt dit bij 4000 MHz inderdaad het geval te zijn. Voor de 5-cm-buis echter neemt $G \times B$ *af* met afnemende B (zie fig. 6), waaruit men mag concluderen dat de werkfrequentie hoger ligt dan de compensatiefrequentie, d.w.z. dat de inductieve terugkoppeling groter is dan de capacitieve. Wellicht kan bij gebruik van een rooster met gekruiste draden, waarbij vermoedelijk de inductieve terugkoppeling kleiner is, het produkt $G \times B$ bij kleine B aanmerkelijk worden opgevoerd.

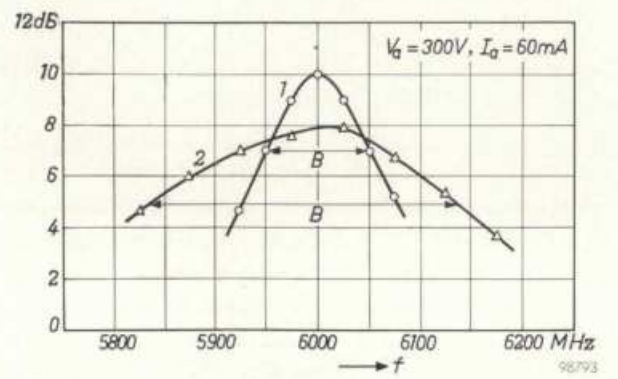


Fig. 6. De vermogensversterking in dB als functie van de frequentie bij verschillende bandbreedte B, gemeten aan hetzelfde buisexemplaar als fig. 5. Het produkt $G \times B$ hangt sterk van B af:
kromme *1*: $B = 100$ MHz, $G = 10$ dB, $G \times B = 1000$ MHz;
kromme *2*: $B = 300$ MHz, $G = 8$ dB, $G \times B = 1850$ MHz.

Wat het uitgangsvermogen betreft, hieraan zijn metingen verricht waarvan *fig. 7* de resultaten geeft voor het buisexemplaar van fig. 5 en 6. Een uitgangsvermogen P_o van 2 W blijkt mogelijk.

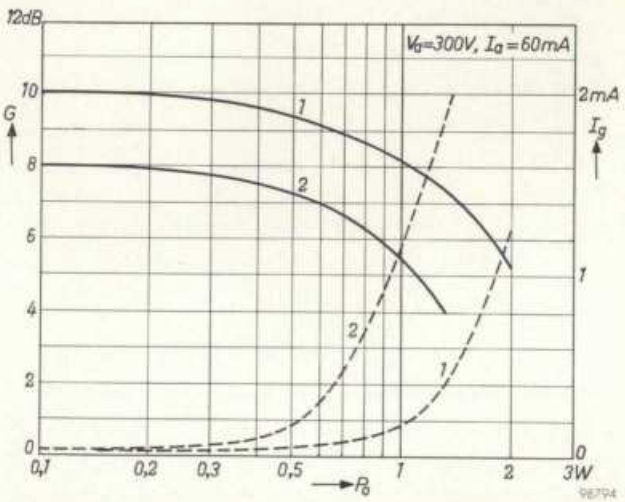


Fig. 7. Vermogensversterking G in dB (getrokken) en roosterstroom I_g — die binnen toelaatbare grenzen moet blijven — (gestippeld) als functie van het uitgangsvermogen P_o bij bandbreedten van 100 MHz (krommen *1*) en 300 MHz (krommen *2*), gemeten aan hetzelfde buisexemplaar als fig. 5 en 6. De ingangszijde van de versterker is aangepast voor kleine P_o.

Bij $B = 100$ MHz wordt een P_o bereikt van 1,5 W bij 7 dB versterking, wat 3 dB lager is dan bij geringe P_o. Bij grotere B wordt P_o minder, doordat dan de anodeweerstand kleiner is en P_o voornamelijk door de stroomuitsturing wordt begrensd.

[9]) G. Diemer, Passive feedback admittance of disc-seal triodes, Philips Res. Repts. **5**, 423-434, 1950. Zie ook het aangehaalde artikel [7]), blz. 158.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Stel dat de anodegelijkstroom I_a is en dat de momentele waarde van de totale anodestroom $2I_a$ kan bedragen. In dat geval kan de anodewisselstroom een effectieve waarde $I_a/\sqrt{2}$ bereiken. De anodeweerstand is $R_a = 1/(2\pi BC_a)$, waarin B = bandbreedte en C_a = totale capaciteit van het anodecircuit. Het anodevermogen is $(I_a/\sqrt{2})^2 R_a$; met $B = 100$ MHz, $C_a = 1$ pF en $I_a = 60$ mA betekent dit ongeveer 3 W. De amplitude van de anodewisselspanning is daarbij $I_a R_a \approx 100$ V, zodat er bij een anodegelijkspanning van b.v. 300 V nog geen spanningsuitsturing is. Het zal uit deze globale beschouwing, waarbij terugkoppeling en verliezen verwaarloosd zijn, duidelijk zijn dat de stroomuitsturing het verband tussen uitgangsvermogen en versterking bepaalt.

Ten slotte nog de buis als oscillator. Door een gedeelte van het uitgangsvermogen terug te leiden naar de ingang van het boven beschreven versterkercircuit, kon gemakkelijk een oscillator voor 1,5 W bij 6000 MHz gemaakt worden. Met de buizen met een kleine afstand rooster-anode kan deze oscillator een frequentie van 6500 MHz halen. Met de buizen met grote afstand rooster-anode is een oscillatorfrequentie van 7400 MHz bereikt, waarbij evenwel het uitgangsvermogen kleiner is. Door de buis op te nemen in een geschikt oscillatorcircuit — b.v. een oscillator van het zg. „re-entrant"-type, waarmee echter geen metingen zijn verricht — zullen stellig nog hogere frequenties en vermogens bereikbaar zijn.

De bij het construeren van deze 5-cm-triode opgedane ervaringen en de eraan verrichte metingen wettigen de overtuiging, dat een bovenste grens van het frequentiegebied waarvoor triodeversterkers met voldoende groot produkt $G \times B$ realiseerbaar zijn, hiermee nog niet is bereikt.

M. T. VLAARDINGERBROEK.

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLIKATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publikaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven, op aanvraag overdrukken.

2620: R. Vermeulen: Stereo-reverberation (J. Audio Engng. Soc. **6**, 124-130, 1958, no. 2).

Uiteenzetting over ambiofonie (stereonagalm); zie Philips techn. T. **17**, 223-231, 1955; **20**, 263-281, 1958 (no. 9) en **21**, 54-74, 1959 (no. 2/3).

2621: A. A. Kruithof: Die Lichtausbeute von Niederdruck-Leuchtstofflampen (Elektrizitätsverwertung **33**, 23-28, 1958, no. 2).

Bespreking van de overwegingen die hebben geleid tot vorm en afmetingen van „TL" lampen, en tevens van de verschillen in het licht geproduceerd door standaardlampen en „de luxe"-lampen in verband met de gebruikte fluorescerende materialen. Zie ook Philips techn. T. **18**, 221-232, 1956.

A 6: E. Baronetzky: An apparatus, capable of being heated, for high-vacuum grinding of solids (J. sci. Instr. **35**, 427-428, 1958, no. 11).

Beschrijving van een toestel om in vacuüm en bij hoge temperatuur te kunnen slijpen. Het slijpmechanisme is ondergebracht in een glazen vat, waarvan de wanden tevens een functie hebben bij de legering van de as van het slijpelement (een roterende ronde vijl) en bij de geleiding van het te slijpen werkstuk. Het toestel kan tot 400 °C worden verhit. De aandrijving geschiedt magnetisch met behulp van een ring van ferroxdure die buiten om het vat roteert en door middel van wervelstromen de as meeneemt. Het glazen vat wordt aan een vacuüminstallatie gesmolten en bezit geen pakkingen, geslepen verbindingen of kranen. Het toestel is met succes gebruikt voor het slijpen van natuurlijke en synthetische soorten grafiet. De druk gedurende het slijpen bedroeg minder dan 10^{-6} mm Hg.

R 354: P. Winkel en B. Verkerk: On the mechanism of electrolytic rectification (Philips Res. Repts. **13**, 501-505, 1958, no. 6).

Tussen een metaal als Al of Ta en een elektrolyt treedt gelijkrichting op als het metaaloppervlak anodisch is geoxydeerd. Hoe dit verschijnsel, dat ten grondslag ligt aan de technisch belangrijke elektrolytcondensator, verklaard moet worden, is nog niet bekend. Dikwijls evenwel wordt de onderstelling gemaakt dat de gelijkrichting niet gelijkmatig over het gehele oppervlak plaatsvindt, maar op vele kleine plekken van dit oppervlak („puntgelijkrichting"). Dit artikel beschrijft experimenten met Al, die tot doel hadden de juistheid van deze onderstelling te toetsen. De experimenten leverden echter geen enkele aanwijzing voor het optreden van puntgelijkrichting.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

R 355: B. Verkerk, P. Winkel en D. G. de Groot: On the mechanism of anodic oxydation of tantalum (Philips Res. Repts. **13**, 506-508, 1958, no. 6).

Beschrijving van experimenten ter bestudering van het gedrag der metaalionen bij de anodische oxydatie van tantaal. Een plaatje tantaal werd bedekt met een uiterst dun laagje radioactief tantaal. Nadat dit plaatje anodisch was geoxydeerd, werd de oxydehuid zorgvuldig in successieve laagjes weggeëtst. Telkens na het wegetsen van een laagje werd de radioactiviteit van het plaatje onderzocht. Hierbij werd vastgesteld dat het transport van de tantaalionen bij de oxydatie niet geschiedt door een zuivere vacaturediffusie en ook niet door een zuivere interstitiële diffusie. Waarschijnlijk is een mengvorm van deze mechanismen werkzaam, een theorie die ook op andere gronden reeds is geopperd.

R 356: F. L. H. M. Stumpers: The spectrum of limited gaussian noise (Philips Res. Repts. **13**, 509-514, 1958, no. 6).

Stel dat aan de ingangszijde van een niet-lineaire vierpool (b.v. een begrenzer) met bekende karakteristiek (b.v. de uitgangsstroom als functie van de ingangsspanning) een signaal wordt toegevoerd dat bestaat uit Gauss-ruis. Dit signaal zij verkregen door witte ruis door een filter met bekende filterkarakteristiek te voeren. De auteur berekent het energiespectrum van het signaal dat verschijnt aan de uitgangszijde van de niet-lineaire vierpool. Hij drukt dit uitgangssignaal uit in de volgens Laplace getransformeerde karakteristiek van de niet-lineaire vierpool en in de convoluties van de filterkarakteristiek met zichzelf. Vervolgens past hij het verkregen algemene resultaat toe op verscheidene vormen van karakteristieken van niet-lineaire vierpolen. De gevolgde berekeningsmethode blijkt ook bruikbaar als, behalve ruis, ook een draaggolf in het ingangssignaal van de vierpool aanwezig is. De auteur berekent voor dit geval de uitgangsamplitude behorende bij de draaggolffrequentie, en bovendien weer het energiespectrum van de uitgangsruis.

R 357: W. Hoogenstraaten: Electron traps in zinc-sulphide phosphors (Philips Res. Repts. **13**, 515-693, 1958, no. 6).

In dit proefschrift (Amsterdam, februari 1958) wordt gepoogd inzicht te krijgen in de chemische en fysische aard van de vangplaatsen voor elektronen („traps") in zinksulfidefosforen, waaronder mede verstaan worden fosforen met als grondmateriaal mengkristallen van ZnS met CdS of ZnSe. Volgens het beeld dat men zich heeft gevormd van deze fosforen, zijn er twee soorten gelokaliseerde energieniveaus, nl. de activatorniveaus dicht boven de valentieband en de coactivatorniveaus (vangplaatsen) dicht onder de geleidingsband. In de grondtoestand zijn de activatorniveaus bezet en de vangplaatsen onbezet.

Tijdens aanslag (met ultraviolette straling) van de fosfor bij lage temperatuur worden elektronen uit de activatorniveaus via de geleidingsband naar de vangplaatsen gebracht, waaruit zij slechts bij temperatuurverhoging kunnen ontsnappen. Wanneer, na de beëindiging der bestraling, de temperatuur geleidelijk wordt verhoogd, ontsnappen de elektronen achtereenvolgens uit steeds dieper gelegen vangniveaus en veroorzaken bij het terugvallen in de activatorniveaus fluorescentie. In de kromme die dan het verloop van de fluorescentie-intensiteit als functie van de temperatuur weergeeft (we spreken verder van „glimkromme"; Engels „glow curve"), treden dus één of meer pieken op, die corresponderen met vangplaatsen van verschillende diepte. Deze glimkrommen leverden in hoofdzaak het experimentele materiaal voor het onderzoek. De theoretische samenhang tussen deze krommen en de diepte en de ontsnappingsfrequentie die de vangplaatsen karakteriseren, wordt in het eerste hoofdstuk uitvoerig besproken.

Het tweede hoofdstuk behandelt achtereenvolgens de bereiding van de fosforen, de experimentele methodiek en de meetresultaten. Het blijkt dat in ZnS, geactiveerd met Cu, Ag of Au, de elementen Cl, Br, Al, Sc, Ga, In en Co (de coactivators, die vangplaatsen leveren) pieken in de glimkromme veroorzaken die karakteristiek zijn voor deze elementen. Het element O levert drie pieken, die worden toegeschreven aan substitutionele O-atomen, aan zwavelvacatures (V_S^+-vacatures) die door het opnemen van O ontstaan, en aan paren van deze vacatures. In mengkristallen van ZnS met CdS of ZnSe zijn de pieken verschoven naar lagere temperaturen, en wel ca. 9 °C per mol.-% Cd en ca. 3 °C per mol.-% Se. Ook treedt bij mengkristallen van ZnS en CdS met Cl of Al als coactivator, een nieuwe piek op, die toegeschreven wordt aan paren van Cd-atomen. Voor de diepten (in eV) der vangplaatsen die door de verschillende elementen worden veroorzaakt, werden de volgende schattingen gemaakt: Cl 0,25; Br 0,26; Al 1,25; Sc 0,34; Ga 0,42; In 0,50; Co 0,52; Ni $>$ 0,58; O 0,59; V_S^+ 0,27; $(V_S^+)_2$ 0,44; Cd 0,53.

Als de vangplaatsen te diep zijn, worden de activatorniveaus reeds bezet door thermisch geactiveerde elektronen uit de valentieband, voordat

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de temperatuur zo hoog is dat de elektronen uit de vangplaatsen ontsnappen. Dan kunnen deze vangplaatsen geen fluorescentie meer opleveren (temperatuurdoving van de fluorescentie). Het bestaan van deze diepe vangplaatsen kan niettemin worden aangetoond, nl. door opnemen van de aanloopkrommen van de fluorescentie (intensiteit van het fluorescentielicht als functie van de tijd, bij kamertemperatuur en bij constante bestraling met U.V.) voor verschillende concentraties van het element dat de diepe vangplaatsen oplevert. Hoe groter deze concentratie, des te langzamer nadert de fluorescentie zijn verzadigingswaarde. Op deze wijze bleek dat Ni dergelijke diepe vangplaatsen oplevert. Uit een speciaal onderzoek van het systeem ZnS-Cu-Co bleek o.a. dat de lichtsom (oppervlakte onder de glimkromme) afneemt met afnemende intensiteit der bestraling met U.V. Dit wordt verklaard door aan te nemen dat het U.V. niet alleen elektronen in de vangplaatsen brengt, maar tevens elektronen daaruit bevrijdt, zodat de concentratie der bezette vangplaatsen die zich instelt, afhangt van de intensiteit der bestraling. Bij metingen aan soortgelijke fosforen bleek dat de lichtsom afneemt naarmate een langere tijd is verlopen tussen het einde der bestraling met U.V. en de meting van de lichtsom. (Gedurende deze tijd wordt de fosfor op lage temperatuur gehouden.) Blijkbaar lekken de gevangen elektronen uit de vangplaatsen weg door een quantummechanisch tunnelproces. Dit proces wordt ook verantwoordelijk gesteld voor de lage waarden die werden gemeten voor de absolute lichtsom, die slechts 0,01 tot 0,08 quantum per activator- of per coactivatoratoom bedraagt.

Het derde en laatste hoofdstuk bevat theoretische beschouwingen over de eigenschappen van activators en coactivators (centra). Hoewel zij voor het geval van ZnS slechts een beperkte geldigheid heeft, diende toch de zg. effectieve-massa-vergelijking als uitgangspunt voor de behandeling van de golffuncties en de energiewaarden der verschillende soorten centra in zuiver ZnS en in mengkristallen. De verstoring van de discrete energieniveaus door wisselwerking met naburige centra blijkt een goede verklaring te geven voor de verdeling der diepten van de coactivatorniveaus, zoals deze werd afgeleid uit een nader onderzoek van enige, ogenschijnlijk enkelvoudige, pieken in de glimkromme. Een bijzonder sterke storing van niveaus treedt op als paarvorming door centra van verschillende polariteit plaatsvindt. De door Williams opgestelde hypothese dat dergelijke centrumparen de eigenlijke fluorescentiecentra zouden vormen, blijkt echter zeer onwaarschijnlijk. Een theoretisch onderzoek van het spontane recombinatieproces tussen coactivator- en activatorcentra leverde resultaten die redelijk overeenstemmen met de experimenteel gevonden afneming van de lichtsom bij dalende temperatuur.

Verschenen is:

G. J. van der Plaats: Medical X-ray technique. Principles and applications (Philips Technical Library, 1959, XII + 480 blz., 213 figuren in de tekst en 16 pagina's met reprodukties van röntgenfoto's).

Dit boek, dat ook in het Spaans, Duits en Frans zal verschijnen, is bestemd voor de technische opleiding van radiologen en van het personeel dat bij de medische toepassing van röntgenstralen voor diagnostiek en therapie betrokken is. Een zekere bekendheid met de fysische grondslagen wordt ondersteld; gedeelten die dieper op de stof ingaan dan voor de beheersing der routinemethodes nodig is, zijn kenbaar gemaakt door druk in kleine letters. De schrijver beperkt zich opzettelijk tot de eigenlijke techniek van het gebruik der röntgenstralen en van het werken met de daarbij te pas komende hulpmiddelen: kwesties als b.v. het plaatsen van de patiënt voor bepaalde opnamen worden hier niet behandeld.

Het boek bevat de volgende hoofdstukken:
1. Oorsprong der röntgenstralen; bouw en werking van de röntgenbuis. 2. Röntgenbuizen. 3. Eigenschappen van röntgenstralen. 4. Methodes van beeldvorming; projectiewetten. 5. Detailwaarneembaarheid in het röntgenbeeld. 6. Scherpte. 7. Het contrast. 8. Eigenschappen van doorlichtschermen, röntgenfilms en versterkingsschermen. 9. De ontwikkelkamer en ontwikkeltechniek. 10. Factoren die de belichtingstijd bepalen. 11. Het opstellen van belichtingstabellen. 12. Speciale technieken voor de belichting. 13. Algemene techniek van röntgenopnamen. 14. Speciale opnametechnieken. 15. Statieven voor diagnostiek. 16. Röntgendiagnostiekapparaten. 17. Methodes voor de meting van hoogspanning, stroom en tijd. 18. De biologische werking van straling; bestralingsmethodes. 19. Dosimetrie. 20. Dosering van röntgenstralen. 21. Oppervlaktetherapie. 22. Dieptetherapie. 23. Contacttherapie. 24. Therapie met radioactieve elementen. 25. Het gevaar van de straling; beschermingsmaatregelen in röntgendiagnostiek en -therapie.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!